

**EN-JS1020 KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME  
DEMİRİN DELME İŞLEMİNDE YÜZEY  
PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN İSTATİSTİKSEL  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**2015  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Murat ÇELİKBİLEK**

**EN-JS1020 KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRİN DELME İŞLEMİNDE  
YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Murat ÇELİKBİLEK**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği  
Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Haziran 2015**

Murat ÇELİKBİLEK tarafından hazırlanan “EN-JS1020 KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRİN DELME İŞLEMİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRİLMESİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ  
Tez danışmanı, İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Bu çalışma jürimiz tarafından oy birliği ile İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir. .../.../2015

Unvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Halil DEMİR (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hasan Basri ULAŞ (GÜ)

İmzası

.../.../2015

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Murat ÇELİKBİLEK

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **EN-JS1020 KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRİN DELME İŞLEMİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Murat ÇELİKBİLEK**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**İmalat Mühendisliği**

**Tez Danışmanı**

**Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ**

**Haziran 2015, 66 sayfa**

Bu çalışmada EN-JS1020 (EN-GJS-400-18) malzemeden imal edilen aksenal pistonlu hidrolik pompanın kapak plakası akışkan giriş delikleri CNC yatay işlem merkezinde delinmiştir. Delinen deliklerin yüzey pürüzlülük değerleri belirlenerek analiz edilmiştir. Araştırılması yapılan küresel grafitli dökme demir malzemesindeki kapak plakası gerçek üretim ortamında takip edilmiş ve incelenmiştir. 180x180x80 mm ölçülerindeki küresel grafitli dökme demir kapak plakasının üzerinde simetrik bir şekilde konumlandırılmış olan Ø 23,7 mm'lik delikler 113,04 m/dk (1500 dev/dk) kesme hızı ve 140 mm/dk ilerleme hızında 23 mm derinliğinde soğutma sıvısı kullanılarak delinmiştir. Ra3,2 ve Rmax16 yüzey pürüzlülük değerleri takip edilmiştir. Bu çalışmada özel olarak üretilmiş TiN kaplamalı değiştirilebilir karbür kesici takım kullanılmıştır. Bu çalışmada 920 adet parça takip edilmiştir. Ra ve Rmax'ın her biri için 352'şer adet ölçüm gerçekleştirilmiştir. 920 ile 940. parçalar

arasında Rmax16 değerinin üzerine (Rmax18,2) ıkıldığı için deney durdurulmuştur. Elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri önce Minitab ve analizin doğruluğunun kanıtlanması için de daha sonra Matlab programlarında istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmenin sonucunda Ra3,2 ve Rmax16 yüzey pürüzlülük değerleri için formül elde edilmiştir. Elde edilen bu formüllerle, analiz programının belirlediği güven aralığında, delme işlemi yapılmadan istenilen parça numarasındaki Ra ve Rmax'ın hangi değerde gelebileceğinin elde edilmesi mümkün olmuştur.

**Anahtar Sözcükler :** Küresel grafitli dökme demir, yüzey pürüzlülüğü, istatistiksel analiz.

**Bilim Kodu** : 916.1.066

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **STATISTICAL EVALUATION OF SURFACE ROUGHNESS IN DRILLING OF EN-JS1020 DUCTILE IRON**

**Murat ÇELİKBİLEK**

**Karabuk University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Manufacturing Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ**

**June 2015, 66 pages**

In this study, drilling operations were carried on a hydraulic pump cover plates made of EN-JS 1020 ductile iron on a CNC horizontal milling machine. The surface roughness values of the drilled holes were analysed. The drilling operations were carried out in real in manufacturing environment. The holes of 23.7 mm in diameter were symmetrically positioned on the cover plate of 180 mm x 180 mm x 80 mm in dimensions. Drilling tests were performed at 113.7 m/min (1500 rpm) cutting speed and 140 mm/min feed rate for 23 mm depth using cutting fluid. Ra<sub>3,2</sub> and R<sub>max16</sub> surface roughness values were examined. A specially manufactured TiN coated carbide inserts were used. A total of 920 cover plates were examined and 352 Ra and 352 R<sub>max</sub> surface roughness measurements were carried out at the defined intervals. The tests were stopped between 920. and 940. parts as the R<sub>max18.2</sub> was over 16 was obtained. The obtained surface roughness values were evaluated statistically using Minitab and Matlab. Equations were obtained for Ra<sub>3.2</sub> and R<sub>max16</sub> after the

evaluation. The obtained equations made it possible to estimate the Ra and Rmax surface roughness values of the desired part number without drilling with the confidence level defined by the program.

**Key Word :** Ductile iron, surface roughness, statistical analysis.

**Science Code :** 916.1.066



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ'ye, değerli hocam Doç. Dr. Halil DEMİR'e, Yrd. Doç. Dr. Mehmet BOY'a, deneylerin yapılmasında yardımcı olan Bursa Sürücü ve Kontrol Firması Uzman Kalite Kontrol Kısım Müdürü Şerafettin ŞAN'a, ve Serkan YILDIRIM'a, Bursa Montaj Sistemleri ve Özel Makineler İş Kolu Kısım Müdürü Serdar VANLIOĞLU'na, Bursa Otomotiv Yan Sanayi Teknik Eğitim Merkezi Teknik Eğitmeni Rıza ÖZYURT'a, ve Ercan BORAZAN'a, Endüstriyel Mekanik Öğrencisi Emre PASTALCI'ya ve yakın arkadaşım Ahmet TANRIVERDİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca yüksek lisansım sürecinde Karabük'te bizi yalnız bırakmayan Ayhan DEMİRCİ, Turan DAŞ, Fatih ÇOBAN, Safa POLAT ve Esad ELDOĞAN'a teşekkür ediyorum.

Son olarak hayatımda yürümek istediğim her yolda hep yanımda hissettiğim, beni bugünlere getiren anne ve babama ve de değerli kardeşlerime şükranlarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	3
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	3
2.1. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	3
BÖLÜM 3 .....	10
TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK .....	10
3.1. TALAŞLI İMALATIN İMALAT TEKNİĞİNDEKİ ÖNEMİ .....	10
3.2. TALAŞLI İMALAT .....	10
3.2.1. Delik Delme.....	11
3.2.1.1. Delik Delme İşlemleri.....	11
3.2.1.2. Delme İşlemlerinde Parametreler .....	14
3.2.1.3. Matkap Seçimi .....	14
3.2.1.4. Matkap Geometrisi.....	15
3.3. İŞLENEBİLİRLİK .....	17
3.4. TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ .....	17
3.4.1. Yüzey Yapısının Özellikleri .....	18

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.4.2. Ra Ortalama Pürüzlülük Değeri .....	19
3.4.3. Rmax (Rz) En Yüksek Pürüzlülük Değeri .....	20
3.4.4. Bitirme Yüzeyleri, Yüzey pürüzlülüğü ve Ölçülmesi .....	21
3.4.5. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Değerleri .....	22
3.4.6. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü .....	23
3.4.7. Yüzey Pürüzlülüğünün Önemli Olduğu Durumlar.....	24
3.4.8. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler.....	25
BÖLÜM 4 .....	27
KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLER (KGDD) .....	27
4.1. GİRİŞ.....	27
4.2. KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRİN ÖZELLİKLERİ .....	27
4.3. ALAŞIM ELEMENTLERİ .....	28
4.4. KGDD'İN SINIFLANDIRILMASI.....	28
4.5. KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRİN KULLANIM ALANLARI .....	30
BÖLÜM 5 .....	31
DENEY DİZAYNI .....	31
5.1. GİRİŞ.....	31
5.2. KLASİK METODOLOJİ DENEY DİZAYNI.....	35
5.3. İSTATİSTİKSEL METODOLOJİ DENEY DİZAYNI.....	35
5.3.1. Tam Faktöriyelle Deney Dizaynı.....	36
5.3.2. Kesirli Faktöriyelle Deney Dizaynı .....	37
5.3.3. Taguchi Yöntemi .....	38
5.4. REGRESYON ANALİZİ.....	38
5.4.1. Basit Doğrusal Regresyon .....	39
5.4.2. Parametrelerin Tahmini .....	39
5.4.3. Basit Doğrusal Regresyonda Parametrelerin EKK İle Tahmini .....	40
5.4.4. Çoklu Doğrusal Regresyon.....	41
5.4.5. Çoklu Doğrusal Regresyonda Parametrelerin EKK Yöntemi İle Tahmini.....	42

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 6 .....	44
MATERYAL VE DENEYSEL METOT.....	44
6.1. DENEY MALZEMESİ .....	44
6.2. DENEYLERDE KULLANILAN TEZGAH.....	45
6.3. KESİCİ TAKIM ÖZELLİKLERİ .....	46
6.4. TAKIM TUTUCU ÖZELLİKLERİ.....	46
6.5. METALOGRAFİ VE MİKROYAPI .....	47
6.6. ÖLÇÜM ÖNCESİ YIKAMA İŞLEMİ .....	47
6.7. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜM CİHAZI.....	48
6.8. SERTLİK ÖLÇÜMÜ .....	49
6.9. DENEY DEĞİŞKENLERİ.....	50
BÖLÜM 7 .....	51
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	51
7.1. KDDD MALZEME YAPISI.....	51
7.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ .....	52
7.3. ÖLÇÜMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ANALİZİ .....	54
7.3.1. İstatistiksel Değerlendirme .....	54
BÖLÜM 8 .....	57
SONUÇLAR .....	57
EK AÇIKLAMALAR A. HİDROLİK POMPA KAPAK PLAKASI HİDROLİK YAĞ GİRİŞ DELİKLERİ Ra3.2 Rmax16 ÖLÇÜM SONUÇLARI .....	62
ÖZGEÇMİŞ .....	66

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 3.1. İşlem sayısına göre delme işleminin kıyaslanması .....	11
Şekil 3.2. Delik delme işlemi .....	12
Şekil 3.3. Farklı delik delme işlemleri .....	13
Şekil 3.4. Delme işlemi parametreleri .....	14
Şekil 3.5. Matkabin genel kısımları.....	16
Şekil 3.6. Matkaptaki yüzey ve kesici kenarlar.....	17
Şekil 3.7. Ra örnek yüzey şekli .....	20
Şekil 3.8. Rz örnek yüzey şekli .....	21
Şekil 3.9. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü.....	23
Şekil 3.10. Maksimum ve ortama yüzey pürüzlülüğü derinliği.....	23
Şekil 3.11. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü .....	24
Şekil 3.12. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler.....	25
Şekil 5.1. Bir sistem yada sürecin genel modeli.....	33
Şekil 5.2. Bilimsel çalışmalarda istatistiksel girdi düzeyi.....	34
Şekil 5.3. Klasik metodoloji ile yapılan deney tasarımı ve ölçümü .....	35
Şekil 6.1. Hidrolik pompa kapak plakası .....	44
Şekil 6.2. Hidrolik pompa kapak plakası kalıbı ve yarı mamulu .....	44
Şekil 6.3. Deneylerin yapıldığı CNC tezgah .....	45
Şekil 6.4. TiN kaplı karbür kesici plaketa uç ve teknik özellikleri .....	46
Şekil 6.5. Boehlerit marka WE00589 tipi özel takım tutucu.....	46
Şekil 6.6. Kapak plakasından analiz için kesilmiş numune .....	47
Şekil 6.7. Leano Mat marka yıkama makinesi .....	48
Şekil 6.8. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı.....	49
Şekil 6.9. Setlik ölçüm cihazı.....	49
Şekil 7.1. Kapak plakası mikroyapı görüntüsü 200x.....	51
Şekil 7.2. Kapak plakası mikro yapı görüntüsü 500x.....	52
Şekil 7.3. Ra3,2 grafiği.....	53
Şekil 7.4. Rmax16 grafiği.....	54

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 7.5. Ra3.2 Ölçüm grafiği .....	55
Şekil 7.6. Rmax16 Ölçüm grafiği .....	56

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 4.1. KGDD'in genel kimyasal içeriği .....	27
Çizelge 4.2. İkincil elementlerin grafit yapısına etkileri.....	28
Çizelge 4.3. TSE 526 Standardına göre KGDD'in sınıflandırılması .....	29
Çizelge 4.4. DIN Standardına göre KGDD'in sınıflandırılması .....	29
Çizelge 5.1. Tam faktoriyel deney tasarım çizelgesi .....	36
Çizelge 6.1. KGDD kimyasal bileşimi.....	45
Çizelge 6.2. Cnc Freze teknik verileri.....	45
Çizelge 6.3. Temizlik parametreleri.....	47
Çizelge 6.4. Deney parametreleri.....	50
Çizelge Ek A.1. Ra3.2 Rmax16 ölçüm sonuçları .....	62

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$V_c$	: Kesme hızı
$V_f$	: İlerleme hızı
$D$	: Matkap çapı
$n$	: Fener mili hızı
$f_n$	: Devir başına ilerleme
$\ell_n$	: Ölçüm uzunluğu
$S$	: Standart
$R-sq$	: $R^2$
$F_c$	: Esas kesme kuvveti
$F_p$	: Pasif kesme kuvveti
$y_i$	: i. Gözlem



## KISALTMALAR

AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
CNC	: Computer Numeric Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)
GGG	: Geochemistry, Geophysics, Geosystems (Küresel Grafitli Dökme Demir)
DIN	: Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
KGDD	: Küresel Grafitli Dökme Demir
CBN	: Cubik Boron Nitride (Kübik Bor Nitrür)
YSA	: Yapay Sinir Ağı
TiN	: Titanium Nitride (Titanyum Nitrür)
Ni	: Nikel
Cu	: Bakır
TaC	: Tantalum Carbide (Tantalyum Karbür)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: Alüminyum Oksit
Mg	: Magnezyum
TiC	: Titanium Carbide (Titanyum Karbür)
ISO	: International Organization for Standardization (Milletler Arası Standart Teşkilatı)
ANOVA	: Analysis Of Variance (Varyans Analizi)
E.K.K	: En Küçük Kareler
DFFITS	: Welsch ve Kuh Ölçüsü

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

İmalat sektöründeki gelişmeler her alanda yaygınlaşmakta ve sektörün ehemmiyeti gittikçe artmakta, en iyi kalite, en kısa sürede ve en düşük maliyetli üretim her geçen gün, sanayi ortamında, araştırma geliştirme merkezlerinde ve de üniversitelerde bir çok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalardan biride seri imalatta, imalat işlemlerinin, süreçlerinin istatistiksel takibiyle bir çok verinin elde edilmesi, belirlenmesi ve seri imalat durdurulmadan deney dizayn programları ile analizlerin yapılması ve değişkenlerin belirlenmesi sağlanmaktadır.

Makine parçalarının büyük talaşlı imalat yöntemiyle elde edildiğinden dolayı ekonomik faktörler üzerinde bu usul ehemmiyetli bir etkiye sahiptir. Bu doğrultuda talaş kaldırmayı etkileyen faktörleri optimize etmek demek maliyeti de optimize etmek demektir. Talaş kaldırmayı etkileyen faktörler: kesici takım, işlenen malzeme kesme parametreleri ve tezgâh durumu gibi başlıklar altında toplanılabilir. Talaşlı imalatı etkileyen faktörler içerisinde, malzemeye göre kesici takım seçimi ehemmiyetlidir. Malzeme için seçilen kesici takımın performansı yüksek olursa, takımla işlenen parça sayısı artar ve maliyet düşer. Takım ömrü açısından bakıldığında, aynı malzeme için her bir kesici kenarın işlediği iş parçası sayısı, takımın hız çeliği olması halinde 2,5 iken çok katlı, kaplamalı sinterlenmiş karbür takımlarla 60 civarındadır [1].

İşlenebilirlik her malzeme için değişiklik gösterir. Malzemenin işlenebilirliğinin iyi yahut kötü olması işleme koşullarını etkiler. Bundan dolayı imalatı yapılacak parçanın dizaynı etabında malzeme seçimi yapılırken koşulları sağlayan malzemeler arasında işlenebilirliği daha iyi olan malzeme tercih edilir. Mekanik özelliklerinden dolayı bazı makine parçaları için çelik yerine küresel grafitli dökme demir (KGDD) kullanılmakta ve bu malzemenin işlenebilirliği daha iyi olduğundan dolayı takım

ömründe iyileşme sağlanmaktadır. Küresel grafitli dökme demirler bir çok alanda kullanılmakta ve özellikle otomotiv sektöründe yaygın olarak tercih edilmektedir. 1970’den itibaren üretimi artan küresel grafitli dökme demirler, mühendislik açısından çeliğin birçok avantajını ve dökme demirlerin ekonomik talaşlı işlenebilme özelliğini bir araya getirmektedir. Yüksek mukavemet ve iyi aşınma direnci istenilen birçok yerde geniş kullanım alanına sahiptir. Örneğin otomobillerde kam ve krank milleri, dişliler ve fren disk kampanaları küresel grafitli dökme demirden üretildiğinde, üstün işlenebilirlik özelliği ve elastisite modülünün yüksek olmasından dolayı daha iyi sonuç vermektedir. Ayrıca çeliğe göre daha yüksek aşınma direncine sahiptir [2].

Kesici takım maliyetlerinin işleme operasyonları sonucunda ürün maliyetini arttırdığı bilinmektedir. Bundan dolayı, talaşlı imalatta işleme operasyonlarını en aza indiren bir üretim yönteminin kullanılması ve işleme maliyetini en aza indirgeyen kesme koşullarını belirlemek için temel işlenebilirlik çalışmalarının yapılması gerekmektedir [3].

Bu çalışmada, gerçek sanayi ortamında, küresel grafitli dökme demirden (KGDD) yapılan hidrolik pompa kapak plakasının yağ giriş delikleri değiştirilebilir uçlu karbür matkap ile delinmiştir. Delikler için verilen yüzü pürüzlülük değerleri esas alınarak bir dizi parça takip edilmiş ve değerler alınmıştır. Bu değerlere göre takım ömrü belirlenmiş ve istatistiksel olarak formüle edilmiştir.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

#### 2.1. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Yavuz, GGG 70 küresel grafitli dökme demirden yapılmış kam millerinin işlenebilirliğini hakkında çalışma yapmıştır. Kam milleri, artı ve eksi yöndeki talaş açılarında, sementit karbür kesici takımlarla, 250, 275, 300, 325 m/dk kesme hızlarında, 0,15-0,25-0,30 mm/dev ilerleme miktarlarında ve 0,5 mm ve 2 mm kesme derinliklerinde işlenilmiştir. İlerleme miktarının 0,15 mm/dev'den 0,25 mm/dev'e artması ile elde edilen yüzeylerin pürüzlülük değerinin %100 artışı görülmüş, ilerleme miktarının 0,15 mm/dev'den 0,30 mm/dev'e çıkması ile de yüzey pürüzlülüğünün %300 arttığını tespit edilmiştir. Talaş derinliğine bağlı olarak kesme kuvvetleri farklılıklar göstermiştir. Esas kesme kuvvetinin talaş derinliğinin 0,5 mm'den 2 mm'ye çıkarıldığında arttığı gözlemlenmiştir [4].

Kaçal ve arkadaşları, KGDD'in yüksek kesme hızlarında son bitirme işlemleri için kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünü araştırmışlardır. Deneyler; ısıtılmamış GGG 40 KGDD'den hazırlanan numuneler üzerinde, seramik ve CBN kesiciler ile, üç farklı kesme hızı (600-700-800 m/dk) ve dört farklı ilerleme (0,05-0,08-0,12-0,16 mm/dev) değerlerinde yapılmıştır. En iyi pürüzlülük değeri seramik kesici ile kesme hızının 600 m/dk ve ilerlemenin 0,05 mm/dev olduğu kesme koşulunda 0,4 µm olarak elde edilmiştir. Isıl işlem görmemiş KGDD'nin son bitirme işleminde elde edilen yüzey pürüzlülüğü sonuçlarına göre taşlama gibi son işlemlere ihtiyaç kalmadığı gözlemlenmiştir [5].

Thamizhmanii ve Hasan yapmış oldukları deneyde, dökme demirin işlenebilirliğini incelemişlerdir. İşlenebilirlik deneyleri CBN kesici takımla dört farklı kesme hızında (35, 45, 100, 135 m/dk), dört farklı ilerleme değerinde (0,08-0,1-0,125-0,16 mm/dev)

ve 0,5 mm kesme derinliğinde gerçekleştirmişlerdir. Düşük ilerleme değerlerinde ilerleme kuvvetinin de düşük olduğu ve bütün deneylerde radyal kuvvetin düşük olduğu sonucuna varmışlardır. Düşük ilerleme ve yüksek kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüş ayrıca yüzey pürüzlülüğünde takım aşınmasının etkili olduğu ispatlamışlardır. Sert parçacıkların ve diğer partiküllerin çentik aşınmasına etki ettiği sonucuna ulaşmışlardır [6].

Gülesin ve Kaçal, KGDD'in yüksek kesme hızlarında son bitirme tornalama işlemlerinde kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini istatistiksel olarak araştırmışlardır. Isıl işlem görmemiş GGG 40 KGDD'den hazırlanan numuneler, seramik ve CBN kesicilerle işlenmiş ve kesme deneylerinden elde edilen verilerle varyans analizleri yapmışlardır. Analizler için kesme hızı, ilerleme ve kesici takım değişken parametreler (kontrol faktörleri) olarak belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre; kesici takım bakımından  $F_c$  esas kesme kuvvetinde bir değişme görülmediğini saptamışlardır. Kesme hızı en çok pasif kuvvet  $F_p$  üzerinde etkili olduğu. seramik kesici ile daha iyi yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edildiği, % 5 istatistiksel önemlilik düzeyinde  $F_p$  ile yüzey pürüzlülüğü arasında bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir [7].

Zurecki ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada P (Yüksek alaşımlı, tungsten karbürü takım olup, çelik, çelik döküm gibi uzun talaş çıkaran malzemelerin işlenmesinde kullanılan) ve M (Alaşımlı tungsten karbürü takım olup titanyum oranı P serisinden azdır. Manganlı sert çelik, sert döküm, paslanmaz çelik gibi işlenmesi güç olan malzemeler için kullanılır) serisi malzemeleri alimuna esaslı seramik ve CBN kesici takımlarla işleme esnasında kriyojenik nitrojen ile soğutma yöntemini kullanarak kesici takımların takım ömürlerini araştırmışlardır. Kriyojenik (fizikte çok düşük sıcaklıklarda yapılan üretim ve işlemler için kullanılan terimdir) nitrojen ile soğutma işlemini yapmışlardır Seramik takımın ömrünün CBN takımdan daha iyi olduğunu gözlemlemişler ve bu soğutma yönteminin kullanılmasıyla yüzey pürüzlülüğünde de iyileşmeler olduğu sonucuna varmışlardır. Fakat yöntemin maliyetinin yüksek olduğunu ve sadece özel üretimlerde kullanılabileceğini belirtmişlerdir [8].

Aşkun ve arkadaşları, değişik oranlarda Ni ve Cu ile alaşımlandırılmış KGDD'in işlenebilirliğini kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünü açısından değerlendirmişlerdir. Değişik oranlarda nikel ve bakır ile alaşımlandırılmış altı farklı küresel grafitli dökme demire işlenebilirlik testleri uygulanmışlar ve işlenebilirlik kriterleri olarak kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü baz almışlardır. Sonuçlar; numunelerin daha önceden belirlenmiş olan mikro yapı ve mekanik özelliklerine göre değerlendirilmiş, tüm kriterlere dayanarak en iyi sonuçlar, % 0,7 Ni ve % 0,7 Cu ilave edilmiş numunede olduğunu gözlemişlerdir [9].

Arafat ve arkadaşları, CNC delme işleminde iş mili devir sayısı ve ilerleme hızına bağlı olarak delik içi yüzey pürüzlülüğünü tahmin eden ve yüzey pürüzlülüğünü minimuma indirmek için devir sayısı ve ilerleme hızı seçimini optimize eden bir Yapay Sinir Ağları (YSA) modeli geliştirilmişlerdir. Delme deneyleri, diğer parametreler sabit alınarak değişen devir sayısı ve ilerleme hızlarında çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, takım olarak 10 mm çapında TiN kaplı matkaplar ve iş parçası olarak AISI 1040 ve AISI 2080 malzemeleri kullanılmıştır. Geliştirilen YSA modeli delik yüzey pürüzlülüğünün başarıyla tahmin edilmesi sağlanmış ve yüzey pürüzlülük değerini (Ra) AISI 1040 malzemesi için 0,36  $\mu\text{m}$ , AISI 2080 malzemesi için ise 0,12  $\mu\text{m}$ 'ye kadar düşürecek şekilde delme parametreleri seçiminde optimizasyon sağlamıştır [10].

Ertürk yaptığı çalışmada, termo-reaktif difüzyon metot ile AISI D2 ve M2 çeliklerinin yüzeylerine borlama ve titanyumlama işlemi tatbik edilmiştir. AISI D2 çeliğine 950 °C' de 1 saat süre ile, AISI M2 çeliğine 1000°C'de 1 saat süre ile borlama işlemi uygulanmış, borlamadan sonra örnek parçaların yüzeyine 1050°C' de 1 saat süre ile titanyumlama işlemi uygulanmıştır. Bu çalışmanın gayesi aşınmaya dayanıklı yüksek sertlikte borür/nitrür/karbür katmanları oluşturmaktır. Talaş kaldırma işlemlerinde kullanılan kesici takımların ömürleri aşınma nedeniyle sınırlı olduğunu anlaşılmıştır. Aşınma direncinin yükselmesi ekonomik kayıpların en aza indirilmesi açısından büyük önem taşıdığından bahsetmiştir. Uygulanan farklı kaplama yöntemleriyle, takımlar çok daha sert bileşiklerden oluşan malzemelerle kaplanıp aşınma direnci geliştirilebilmiştir. Kaplama sayesinde bir yandan takım sertliği artarken diğer yandan tokluğu muhafaza edilebilmesi önemli bir avantaj olduğunu anlatmıştır [11].

Özçatalbaş ve arkadaşları takım/iş parçası ısı çift usulu ile (yüksek sıcaklıklarda ölçüm) takım-talaş arayüzey sıcaklığı üzerinde kaplama malzemesinin etkisini araştırmışlardır. AISI 1040 çeliği üzerinde yapılan talaş kaldırma deneylerinde, takım kaplama malzemelerinin, kesme hızı ve ilerleme parametrelerine bağlı olarak takım-talaş ara yüzey sıcaklığının değişimi üzerindeki etkileri incelemişlerdir. Elde edilen grafiklerden, kesme hızının sıcaklık üzerinde daha etken bir parametre olduğunu gözlemlemişler ve ilerleminde etkisinin daha az olduğu görülmüştür.  $Al_2O_3$  kaplanmış ve en üstte TiN kaplama ihtiva eden üç katlı kaplamalı takımlarla yapılan deneylerde, TiN kaplanmış takımında en düşük sıcaklıklar elde edilmiş ve kaplama uygulaması ile sıcaklığın düştüğünü gözlemlemişlerdir [12].

Ezugwu ve Okeke çelik malzemelerin işlenmesinde P20-30 kalitelerde PVD yöntemiyle TiN kaplanmış sementit karbür takımın ömrünü araştırmış, deneyleri dört farklı kesme hızında (150, 175, 200, 225 m/dk), iki ilerleme değerinde (0,4-0,44 mm/dev) ve 1,5 mm kesme derinliğinde yapmışlardır. 200 m/dk kesme hızına ve 0,44 mm/dev ilerleme miktarlarına kadar olan takım ömrünün standartlar için kabul edilebilir değerlerde olduğunu göstermişlerdir. Sıcaklığın artmasıyla takım aşınmasının hızlandığı ve yüksek kesme koşullarında kesici kenarda oluşan aşınma miktarı takım performansını etkilediği tespit etmişlerdir [13].

Karadaş yapmış olduğu çalışmada, bir sanayi kuruluşunda uygulanan deney dizayn çalışması olan Minitab yazılımı kullanılarak örneklemişlerdir. Beyaz eşya imalat sektöründen, imal edilen bir parçada yaşanan teknik bir problemin, kesirli faktöriyel yaklaşım ile çözümü örnek olmasını sağlamışlardır. Yapılan çalışma Minitab yazılımı kullanılarak problem giderilmiş, en sonunda elde edilen değerler için optimizasyon yapmışlardır [14].

Seray bu çalışmada regresyon analizinde, iki regresyon modelinin ve katsayılarının karşılaştırılmasında, değişkenlere ait dağılım bilinmediği durumlarda genelleştirilmiş p değeri kullanabileceğini ifade etmiştir. Genelleştirilmiş p değeri, yalnız yaklaşık çözümler sağlayan klasik p değerinin genelleştirilmiş halidir. İlgilenilen parametreyi açıklarken bunun yanı sıra ilgilenilmeyen (nuisance parametre) fakat problemi çözmek

için açıklanması gereken parametrelerin olması durumunda da genelleştirilmiş p değerinden yararlanılması kesin çözümü sağladığını belirtmiştir. Genelleştirilmiş p değeri, gözlem sayısı küçük örneklerde daha iyi ve doğru sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Bu tezinde, uygulamada yaygın olarak kullanılan klasik p değerleri yerine farklı varsayımların sağlanmadığı durumlarda alternatif olarak kullanılacak genelleştirilmiş p değeri, teorik olarak araştırılmış, uygun simülasyon program yazılmış ve regresyon analizinde bir uygulamasını vermiştir [15].

Can yaptığı çalışmasında, regresyon analizinde etkili gözlem ve/yahut gözlemler, EKK yöntemi ile hesaplanan tahmin değerlerinin değişmesinde ehemmiyetli derecede etkili olabilir. Tahmin değerleri üzerindeki bu etkiler modelin açıklanabilirliğini azalttığı için, veride yer alan etkili gözlem ve/yahut gözlemlerin tespit edilmesi ehemmiyetli olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada etkili gözlem ve/yahut gözlemlerin tespitinde kullanılan Cook Uzaklığı, DFFITS, S ve M tanı istatistikleri incelenmiştir. Bu tanı istatistikleri bir etkili gözlem yahut iki etkili gözlem içeren veride, bu gözlem ve gözlem grubunu etkili gözlem olarak saptama oranı bakımından karşılaştırılmasını sağlamıştır [16].

Seda yaptığı deneyde, çoklu doğrusal bağlantının kaynakları, teshis metotları ve istatistiksel çıkarsama süreci üzerindeki etkenlerini araştırmıştır. Çoklu doğrusal bağlantının düzeltilmesi için öneriler; gözlem sayısının artırılması,bağımsız değişkenlerden bazılarının modelden çıkarılması, modelin yeniden tanımlanması yahut problemi ortadan kaldırmak için özellikle tasarlanmış yanlı regresyon tahmincilerini kullanmıştır [17].

Esra yaptığı çalışmasında endüstri uygulamalarında herhangi bir ürün yahut sürecin geliştirilmesi hedefiyle uygulanan deney tasarımı tekniklerinin mühendislik çalışmaları açısından ehemmiyetine, uygulamadaki faydalarına değinmiş ve deney dizaynında nasıl bir yol izleneceğini belirlemeye çalışmıştır. Çalışmada, ürün üzerinde etkisi olduğu düşünülen faktörlerin etkilerinin ve birbirleriyle olan etkileşimlerinin tahmin edilmesine yardımcı olacak deney etmeleri olan faktöriyel deneylerin dizayn düzenlerinin nasıl elde edildiği, dizaynın nasıl gerçekleştiği, dizayn noktasında nelere dikkat edilmesi gerektiği belirtmiştir [18].



Barış ve Süleyman yaptıkları çalışmalarında, deneysel araştırmalar bilim ve araştırmanın en önemli bir unsuru olduğundan, fakat deneysel araştırma ve çalışmalar uzun süreceğinden ve de uğraşı gerektiğinden bahsetmiştir. Deneysel çalışmalarda doğru bir neticeye erişebilmek için doğru bir deney dizaynının yapılması, parametrelerin (değişkenlerin) düzgün birşekilde belirlenmesi ve deney nedicesinden ne bekleneceğinin doğru olarak bilinmesi gerektiğinden bahsetmiştir. Bütün bu koşullara erişildiğinde bile doğru bir sonuca ulaşmak için aynı numuneden yahut aynı deneyden defalarca yapılması gerekebileceğini fakat hem uzun zaman, hem maliyet hem de kayıplar olacağından bahsetmiştir. Bu deneyde kaliteli ürün geliştirmek veya üretmek için řu ana kadar yapılmış ve bundan sonra yapılması önerilen edilen deney (tasarımları) dizaynları hakkında bilgiler vermiştir [19].

Ceren çalışmasında, son yıllarda, dünyada ve ülkemizde görülen ekonomik problemler nedeniyle, şirketlerin mali başarısızlıklarının önceden tahmin edilememesinin ehemmiyetinin arttığını fark edilmiştir. Çalışmasında, şirketlerin mali başarısızlıklarının öncesinden tahmin edilmesinde, Lojistik Regresyon Analizi ve Diskriminant Analizine bağlı önceden fark edilme yöntemleriyle belirlenmes hedeflenmiştir. Çalışmanın örneklendirilmesini oluşturmak için özel bir bankanın kredili müşteri olan 80 başarılı, 80 başarısız şirket belirlenmiştir. Bu şirketlerin mali verilerinden hesaplanan 8 adet finansal oran modellere bağımsız değişken olarak eklenmiştir. Tahmin edilen erken uyarı modellerinin finansal başarısızlığın öngörülmesinde kullanılabileceği kanaatine varmıştır [20].

Esra çalışmasında, istatistiksel metotların temelinde olan teorinin gelişiminde defalarca bir optimizasyon sorunu ile karşı karşıya kalındığından bahsetmiştir. Örnek olarak, regresyon sorununda amaç fonksiyonunun yapısına bağlı olarak hedef fonksiyonunu en alt seviyeye taşıyacak  $\beta$  değişkenlerinin ön görülmesi olduğu için bir optimizasyon probleminin varlığından bahsetmiştir. Bu sorunda en çok kullanılan yaklaşımlar, En küçük kareler (E.K.K) metodu ve artıkların mutlak değerlerinin ortalamasının minimize edilmesinden bahsetmiştir [21].

Selçuk bu deneyde, değişkenler arasındaki sebep-sonuç bağıntısının araştırıldığı istatistiksel metotların en başında regresyon analizlerine ihtiyaç duyulduğu, regresyon analizi metotları istatistiksel deneylerde çoğunlukla uygulandığı ve regresyon analizinde bağımlı değişkenin aldığı verilere istinaden farklı regresyon analizleri uygulandığını belirtmiştir. Literatürde birçok regresyon analizi yöntemleri kullanıldığına değinmiş, bu çalışmada sıkça karşılaştığımız regresyon yöntemlerinden basit doğrusal regresyon, çoklu doğrusal regresyon, lojistik regresyon ve Poisson regresyon yöntemlerinin uygulandığını gözlemlemiştir. Veri setimizde bir bağımlı bir bağımsız değişken bulunuyorsa basit doğrusal regresyon analizi, bir bağımlı değişken birden fazla bağımsız değişken bulunuyorsa çoklu doğrusal regresyon analizi uygulanmıştır [22].

## BÖLÜM 3

### TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK

#### 3.1. TALAŞLI İMALATIN İMALAT TEKNIĞİNDEKİ ÖNEMİ

İmalatın gayesi, ham madde halindeki bir malzemeyi, belirli bir biçime dönüştürmektir. İmalat, insan ve hayvan gücü ile ilkel yöntemlerle yahut mekanik enerji vasıtasıyla makinelerle yapılabilir. Makinelerin sıkça kullanıldığı imalat sistemine sanayi denilir. Toplumun, mesela tarım, tekstil, gıda. gibi herhangi bir üretim alanına etki edilebilen sanayi, ülkenin kalkınmasında ve ekonominin gelişmesinde ehemmiyetli rol oynar. İmalatın amacı olan ürün, ancak ve ancak üretim araçları ile gerçekleştirilir. metal, plastik, ahşap ve taş gibi malzemelere işlem uygulayan ve bunlara belirli bir biçim ve form veren üretim araçlarına takım tezgahı denilir. Takım tezgahlarından en sık kullanılanları metalik malzemeleri işleyen takım tezgahlarıdır [25].

#### 3.2. TALAŞLI İMALAT

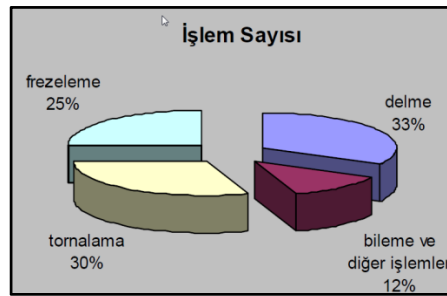
Talaşlı üretim işlemi en ehemmiyetli imalat yöntemlerinden biridir. Talaşlı imalat işleminde iş parçasını istenilen geometriye getirmek için üzerindeki fazlalıklar uygun takım tezgahı (torna, freze, matkap) ve kesici takım kullanılarak talaşlar şeklinde uzaklaştırılıp, istenilen boyutlar ve yüzey kalitesi sağlanır. talaşlı imalat metotları ise, tornalama, delik delme, delik işleme, kesme ve kanal açma, vida çekme, frezeleme gibi işleri kapsamaktadır. Fiziksel-kimyasal işleme grubuna elektro erozyon, tel erozyon, kimyasal, elektro-kimyasal, elektron, lazer ve plazma ile işleme gibi metotlar girmektedir [25].

Çok çeşitli malzemeler talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirilebilir. Gerçekte bütün katı malzemeler işlenebilir. Polimer ve polimer esaslı kompozitler de talaşlı imalat yöntemiyle işlenebilir. Talaşlı imalat işlemiyle düz ve dairesel yüzeyler gibi düzenli geometriler oluşturulabilir. Birkaç talaşlı imalat işlemi sırasıyla uygulanarak hemen hemen bütün karmaşık geometriler elde edilebilir. Talaşlı imalat işlemiyle iş parçası ölçüleri çok yakın toleranslarda ve çok iyi yüzey kalitesinde sağlanabilir [46].

### 3.2.1. Delik Delme

#### 3.2.1.1. Delik Delme İşlemleri

Delme işlemi genelde talaş kaldırma işlemlerinin son aşamasında yer alır. Tornalama ve frezeleme işlemleriyle delme işlemleri kıyaslandığında, işlemlerin kinematik ve dinamik yapısının genelde aynı olup, talaş akışı ve kesme sıcaklığı dağılımının benzerliği görülür. Genel olarak matkapla talaş kaldırma işlemi ile tek ağızlı kesici ile (tornalama, planyalama) talaş kaldırma işlemini kıyasladığımızda pek bir farklılık görülemez. Ancak delik işleminde, talaşın işlem esnasında uzaklaştırılması ve soğutma suyunun verilmesi güçtür. Talaş ile helis kanalları ve matkap ile işlem görmüş yüzeyler arasında sürtünmenin en üst seviyelere çıktığı görülmektedir. Ayrıca ,matkabın ağızı boyunca talaş açısının değiştiği ve farklı kesme durumlarının olduğu göz önünde bulundurulursa, matkap ile talaş kaldırma, tek ağızlı takıma göre çok daha karmaşık ve ağır şartlarda olduğu görülür (Şelik 3.1) [36].



Şelik 3.1. İşlem sayısına göre delme işleminin kıyaslanması [36].

Delik delme, matkap adı verilen silindirik bir kesici takım ile iş parçasında delik açma yöntemlerinin bütününe verilen bir isimdir Delme işlemi kısa veya derin deliklerde

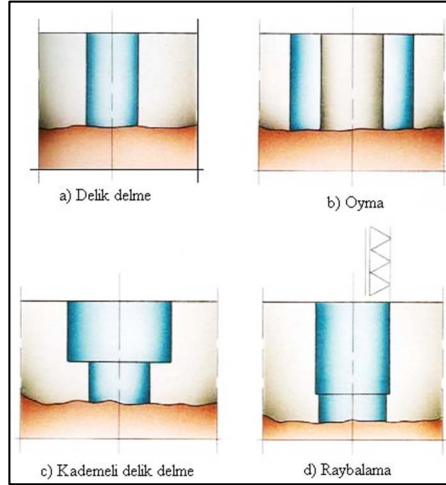
olacağı gibi bununların devamında son işlem olarak raybalama, broşlama, havşa açma ovalama veya parlatma gibi tamamlayıcı delme işlemleride yapılır. Tüm bu işlemler kesici takımın yada iş parçasının kendi ekseni etrafında dönmesi hareketine doğrusal olarak iş parçasının veya kesicinin ilerlemesidir Delik delme, takım çelikleri, yüksek hız çelikleri veya kaplamalı özel kesicilerle bir iş parçasında silindirik delik açma metodlarını içermektedir. (Şekil 3.2.) Delik delme, , fatura açma (kademeli delik işleme), delik büyütme raybalama ve gibi birbirini takip eden talaş kaldırma işlemlerini içerir. Bütün bu işlemlerde ortak nokta, doğrusal bir ilerleme hareketi ile beraber bir kesicinin kendi ekseni etrafında dönme hareketinin olamasıdır. Kısa delik delme ile derin delik delme işlemleri birbirinden farklıdır. Derin delik açma süreci daha kapsamlı bilgi gerektiren bir yöntemdir [36].



Şekil 3.2. Delik delme işlemi [36].

Kısa delik delme işlemlerinde, teknolojiadaki ilerlemesi ve buna bağlı olarak kesici takımların gelişmesiyle, ön delme ve ek işleme gereksimini yüksek oranda değiştirmiştir. Modern takımlar, daha öncesinde eksenleme ve klavuz delikleri gibi ön delme işlemine ihtiyaç duymadan, direkt olarak delmenin tek işlemde gerçekleştirilmesi imkanı sağlanmıştır. Delik ve ölçü hassasiyeti, yüzey pürüzlülüğünü geliştirmek için ek olarak devamında başka bir delik operasyonu yapılmasına gerek kalmaz. Delik delme işlemi tornalama ve frezeleme işlemleri ile kıyaslayacak olursak delmede de talaş kırma ve talaşın ortamdan uzaklaştırılması kritik ehemmiyete sahiptir. Delik derinliği ne kadar büyük olursa delme operasyonu okadar zorlayıcı

olacaktır. Delik delme işlemlerini; doluya delik delme işlemi, delik büyütme işlemi, fatura açma işlemi (kademeli delik delme) ve raybalama işlemi olmak üzere 4 başlık altında toplamak mümkündür (Şekil 3.3) [36].



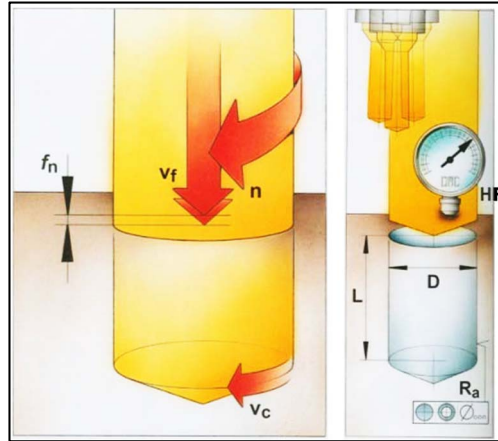
Şekil 3.3. Farklı delik delme işlemleri [36].

- a. Doluya delik delme işlemi: Doluya delik delme en çok görülen delik delme işlemidir. Bu metotla katı malzemeye tek işlemde kesicinin çapı ölçüsünde delik açılır (Şekil 3.3.a)
- b. Delik büyütme işlemi: Delik büyütme işlemi genellikle daha büyük delik çapları için tercih edilir. Delik büyütme işlemi doluya delik delme işlemine göre daha kolay bir işlemdir. Delik büyütme işlemi deliğin tüm çapını işlemez, sadece deliğin çevresini işler bu metot sonuçta delik içi uygulamaları içindir. (Şekil 3.3.b) Ayrıca özel çap ölçülerinde işlemek içinde idealdir
- c. Fatura açma işlemi: Fatura açma (kademeli delik) işlemi özel üretilmiş kesicinin ana deliğin klavuzlamasıyla deliğin çevresinde belirli bir miktarda çevresel talaş kaldırma işlemidir. (Şekil 3.3.c) Örnek olarak silindirik başlı civatanın takılması için kademeli matkaplar kullanılır
- d. Raybalama işlemi: Raybalama deliğin son (ince) işlemidir. Bu işlem yüksek yüzey kalitesi ve hassas toleranslar sağlamaktır. Eğer bir delikte raybalama

işlemi varsa delinen delikte bir geçme, sızdırma veya bir başka parçayla çalışma durumu anlamında gelmektedir. Raybalama işlemi için dolu malzemeye ön delme işlemi yapılır daha sonra rayba işle son hassas işlem tamamlanır. (Şekil 3.3.d) [36].

### 3.2.1.2. Delme İşlemlerinde Parametreler

Delik delme işleminde kullanılan parametreler devir başına ilerleme hızı ( $f_n$ ) ilerleme hızı ( $V_f$ ) devir sayısı ( $n$ ) ve kesme hızı ( $V_c$ ) (Şekil 3.4) Devir başına ilerleme hızı, kesicinin bir devri boyunca yaptığı eksenel harekettir. İlerleme hızını yorumlayacak olursak matkabın birim zamanda aldığı mm cinsinden yoldur. Kesme hızı ise matkabın üzerindeki bir noktanın bir dakikada metre cinsinden aldığı yoldur [36].



Şekil 3.4. Delme işlemi parametreleri [36].

### 3.2.1.3. Matkap Seçimi

Matkap seçiminde aşağıdaki maddelere dikkat edilir;

- Delik çapı, derinliği ve delik kalitesi belirmedikten sonra üretim maliyeti ve işlem güvenilirliği dikkate alınır [36].
- Matkap tipi seçilir. Deliklerin kaba yahut ince işlenmesi için bir matkap seçilmelidir. Matkabın iş parçası malzemesine, delik kalite ihtiyaçlarına uygun

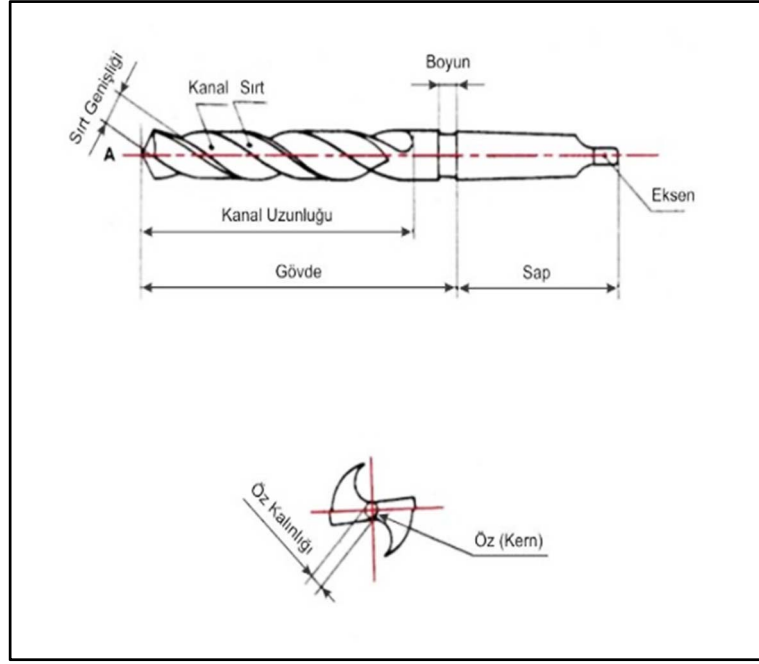
olduğu ve en ekonomik delik işlemeyi sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir [36].

- c. Malzemeye ve deliğin tibiine göre matkabın geometrisi ve kalitesi belirlenir. Eğer değiştirilebilir uçlu bir matkap belirlenmişse, kesici uçların ayrı ayrı seçilmesi önemlidir [36].
- d. Matkabın Tutucu tipi belirlenir. Matkapların takım tutucularla bir çok montaj seçenekleri vardır. Genelde her tezgahın kendine özgü takım tutucuları olur. Delme işlemi hangi tezgahta yapılacaksa, buna uygun tutucular seçilir. Yeni teknolojide karbür delik delme takımlarından yüksek verimler elde edilir. Talaşlı imalat atelyelerinde kullanılan yüksek hız çeliği (HSS) helis matkaplardan daha fazla gelişim gösterdiği gözlemlenmiştir Bu gelişim neticesinde delik başına işleme maliyeti önemli derecede azalmıştır. Sinterlenmiş karbür matkaplar HSS matkaplara göre yaklaşık 20 kat daha iyidir. Buna göre kesme hızı ve ilerleme miktarı kat kat yüksektir. şuan kullanılan matkap ucu geometrileri standart kesme kesme kenarının kesme hareketini büyük ölçüde ilerleme sağlanırken, takımın performansı ve takımın ömrünü önemli ölçüde arttırmıştır. Yekpare karbür helis matkaplar, yapılacak delme işleme ve tezgaha bağlı olarak, daha düşük kesme hızlarında, daha yüksek ilerlemelerde çalışırken, değiştirilebilir kesici uçlu matkaplarla ise yüksek kesme hızları, düşük ilerlemeler için kullanılır [36].

#### **3.2.1.4. Matkap Geometrisi**

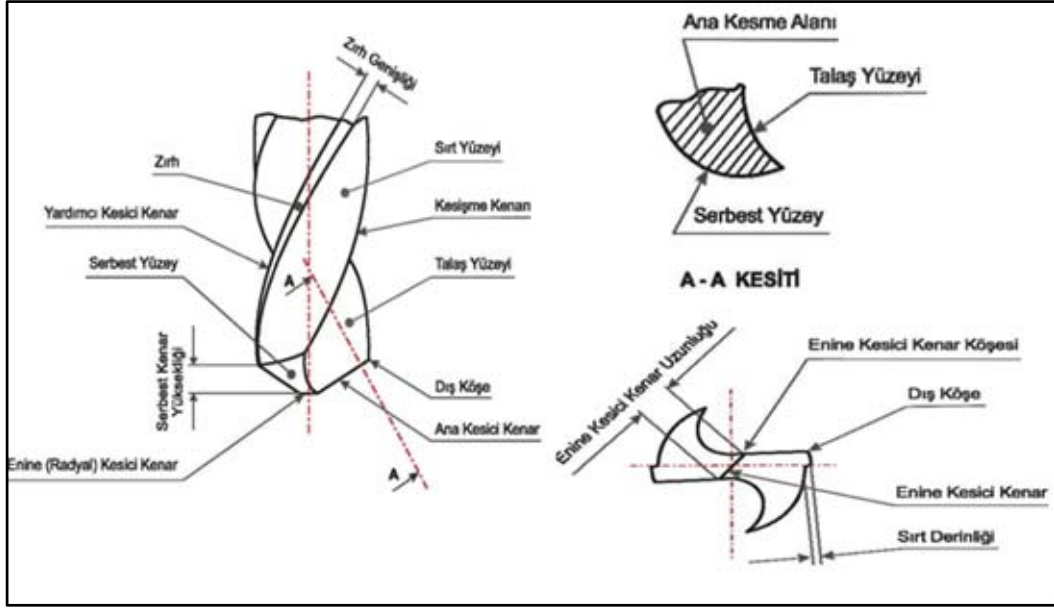
Matkaplar gövde ve sap olmak üzere genel olarak iki kısımdan oluşur. Sabitleme için kullanılan sap kısmı silindirik yada konik biçimindedir. Kanallı kısım sap ile bütün olarak yada kaynakla birleştirilerek üretilmektedir. şekil 3.5‘da bir matkabın temel hatları gösterilmiştir kanal uzunluğu deliğin yaklaşık boyunu belirler. Bu kanaldan falza derinliğe inildiğinde delikle matkap arasında sürtünme oluşacak ve bunun sonunda talaşlı imalatta işlem esnasında istenmeyen ısı oluşacaktır [45].





Şekil 3.5. Matkabin genel kısımları [45].

Asıl kesme işleminin matkabin uç tarafında meydana gelir. Matkapta kaç adet ağız sayısı varsa ona bağlı olarak ana kesici kenar ve buna bağlı olarak talaş yüzeyi ve serbest yüzeyi bulunur. Ana ağızlar tarafından oluşturulan koninin tam sivri olduğu görülmez. Bu bölgede çekirdek denilen yassı bir alan vardır. Çekirdeğin uç genişliği enine kesici kenarı meydana getirir. Serbest yüzey ise uç taraftaki konik bölgedir. Matkabin kanallı bölgede kalan iki kanal arasında yer alan yüzey sırt denilen yerdir. Sırt tarafı üzerinde matkap kanalı boyunca helisel olarak uzanan yüzeye zırh adı verilir ve zırh yüzeyinin kanal tarafındaki kenarı yardımcı kesici kenar olarak isimlendirilir [45]. Şekil 3.6'da bir matkabin yüzey ve kesici kenarları gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Matkaptaki yüzey ve kesici kenarlar [44].

### 3.3. İŞLENEBİLİRLİK

İşlenebilirlik “bir malzemenin istenilen biçimde, boyutta ve yüzey kalitesinde işlenmesinin kolaylığını yahut zorluğunu gösteren bir kavramdır” Bir başka araştırmacıya göre ise “işlenebilirlik, bir malzemenin talaş kaldırma işlemi etkileyen özelliklerinin tamamı ve talaş kaldırma metotları ile üretimin kolaylığı yahut zorluğudur” İş parçasının kimyasal bileşimi, mikro yapısı, ısıl işlem, saflık vb. bütün değişkenler işlenebilirliği etkiler. Talaş oluşumu, takım aşınması, bitirme yüzeyi kalitesi ve kesme kuvvetleri gibi işlenebilirlik karakteristikleri ile iş parçasının işlenebilirliği belirlenebilir. Fakat bu karakteristiklerin işleme parametrelerine de bağımlılığı ehemmiyetlidir. İşlenebilirlik, ekseriyetle malzemenin özgül bir özelliği olarak algılansa da, işlenebilirlik sadece işlenen malzemeye bağlı olmayıp aynı zamanda işleme yöntemi ve işleme parametrelerine de bağlıdır [42].

### 3.4. TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Talaşlı imalat sırasında iş parçasında istenmeyen izler oluşur. İşleme metodu, kesicinin cinsi, işlenen malzeme ve kesme parametreleri, fiziksel, kimyasal ve ısıl faktörler ve kesen-kesilen arasındaki mekanik hareketlere bağlı olarak, nominal yüzey çizgisinin

altında ve üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denir [55].

İşleme metodu ne olursa olsun (lepleme, taşlama, tornalama vb.) talaş kaldırılan yüzeylerde belli bir yüzey pürüzlülüğünün oluşması kaçınılmazdır. Farklı metotlarla işlenen aynı malzemelerin yüzey pürüzlülükleri sayısal değer olarak aynı olmasına rağmen bazen bunların aşınma, korozyon, sürtünme ve yorulma dirençlerinin farklı oldukları bilinmektedir. Çünkü yüzeydeki işleme izlerinin yönleri ve dağılımları da performansı etkiler. Bu nedenle işlenecek parçaların bazılarında yüzey pürüzlülük değerinin yanında işleme metodunun da belirtilmesi istenir. Talaşlı imalatta üretilen parçalar gözle incelendiği zaman yüzey her ne kadar düz gibi görünse de gerçekte parça yüzeyindeki gerçek sürtünme alanı parça alanından daha az olmaktadır. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değeri yaklaşık olarak 1,6  $\mu\text{m}$ 'yi geçtiği durumlarda çoğu zaman imalatçılar yüzey pürüzlülüğü ölçmekten çok görsel kontrolü seçerler. Yüzey pürüzlülüğünün çok önemli olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğü kalite kontrolü gerekir. Bunun için uluslararası yüzey pürüzlülük standartları belirlenmiştir. Ülkemizde TS 2040 nolu yayınlı yüzey kaliteleri bir standarda bağlanmıştır. Daha sonra bunu TS 2495, TS 971, TS 2578, TS 6956 ve TS 930 standartları izlemiştir. Talaş kaldırma ile işlenen yüzeylerde, dalga ve pürüzlülük olmak üzere iki türlü yüzey sapması meydana gelir. Dalgalık, yüzeyin geometrik şeklini karakterize ederken, pürüzlülük yüzey kalitesini tayin eder. Standart yüzey pürüzlülüğü değerlendirme kriterleri, yüzeye dik olan bir kesitte belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir. Profil ortalama çizgisinin yeri, bu çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olarak belirlenir [56].

### **3.4.1. Yüzey Yapısının Özellikleri**

Bir yüzey yapısının kontrolünde yorulma ömrü, yataklık etme özelliği ve aşınma önemli faktörlerdir. İşlenen yüzeylerde dalgalık ve pürüzlülük olmak üzere iki tip yüzey sapması meydana gelir. Dalgalık yüzeyin geometrik şeklini karakterize ederken, pürüzlülük yüzey kalitesini tayin eder. Yüzey pürüzlülüğü standartlara göre yüzeye dik olan bir kesitte, belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans

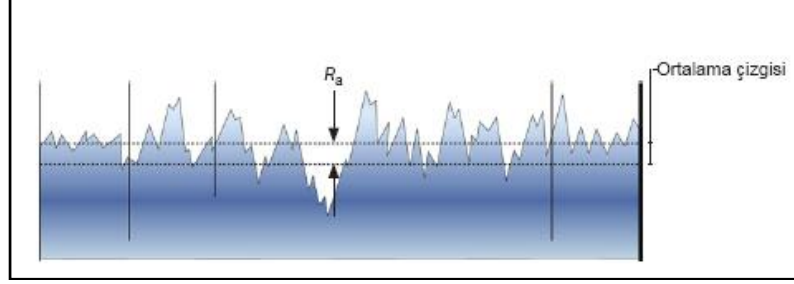
profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir. Referans profil olarak genellikle geometrik profil alınır. Profil ortalama çizgisinin yeri, bu çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olacak şekilde belirlenir. Düz bir yüzey denildiğinde dalgasız, pürüzsüz denildiğinde dalgalı, fakat gözle bakıldığında veya tırnakla kontrol edildiğinde, pürüzlülükleri fark edilemeyen yüzeyler anlatılmak istenir. Doğrultu, yüzey pürüzlerinin referans alınan bir alın yüzeyine göre durumunu belirler. Yüzey geometrileri, işleme metoduna bağlı olarak değişir [56].

Yüzeyler genellikle düzensiz ve karmaşık işlemlerle imal edilirler. Çoğu işlemlerde sıradan kontroller ve minimum kalite kontrolü ile genel yüzey doku gereksinimleri tam olarak karşılanamamaktadır. Çalışma şartlarına uygun olarak, bazı özel durumlar için yüksek mukavemet gerektiren, ağır basınçlara dayanabilen parçaların imalatı, genellikle özel ve detaylı yüzey kalitesine ihtiyaç duyulur. Bu yüzden bu parçalar için, yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi ve kalite kontrolü gerekmektedir. Sürtünmeye karşı kullanılan yağlar ve yağlayıcılar, korosif ortamda çalışan makine elemanları, dönen makaralar, kaplanmış yüzeyler, bujiler gibi parçaların imatları titizlik gerektirir. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörlerin başında kesici uç yarıçapı, ilerleme, takım kesici kenarının keskinliği, işleme esnasında malzemenin yırtılması ve işlenen yüzeyde yığıntı talaşın kalması gelmektedir. Yüzey dokusu, üç boyutlu yüzey topografisi Şeklinde nominal yüzeyden sapmalar olarak tanımlanabilir. İş parçasının profilindeki bu sapmalar, mekanik, optik ve elektronik devrelerin bir kombinasyonu ile ölçülebilir. Hiç bir zaman tam anlamıyla düzgün bir yüzey elde edilemez ve daima bir miktar pürüzlü bir yapı kalır. Bu durum bitirme işleminde kalitesine göre biraz artabilir. Bazı yüzeyler hem pürüzlü hem de dalgalı olabilir. Yüzey dokusu dört elemandan oluşmaktadır. Bunlar; pürüzlülük, dalgalanmalar, yataylık ve çatlaklıklardır [47].

### **3.4.2. Ra Ortalama Pürüzlülük Değeri**

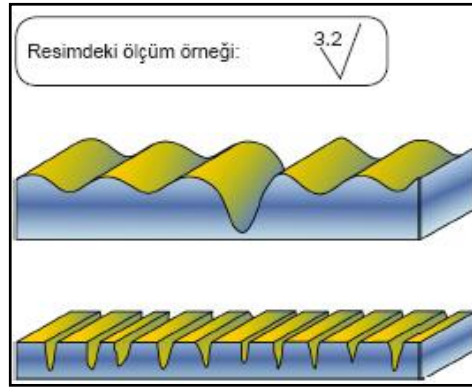
Seçili profilin aritmetik ortalama sapmasının değerlendirilmesi (Şekil 3.7). Dikey yöne bakılmaksızın değerlendirme uzunluğu içerisindeki düz bir çizgiden hareketli tüm sapmaların ortalama bir değeri. Bu, Ra değeri kullanılarak sapmaların tepe mi yoksa vadi mi olduklarını belirlemenin imkansız olduğu anlamına gelir. Ra, tek sapmalardan

önemli ölçüde etkilenmez; bu da büyük bir tepenin ya da bir çizginin gözden kaçması riskinin olduğu anlamına da gelir. Metal yüzeyler için en yaygın değerler  $R_a$ -0,02  $\mu\text{m}$  ve 3,5  $\mu\text{m}$  arasındadır. Değer ne kadar düşükse yüzey de o kadar pürüzsüzdür (0,02  $\mu\text{m}$  = ayna boşluğu).



Şekil 3.7.  $R_a$  yüzey pürüzlülüğü [35].

Şekil 3.8’de  $R_a$  yüzey pürüzlülüğü için örnek şekil verilmiştir.



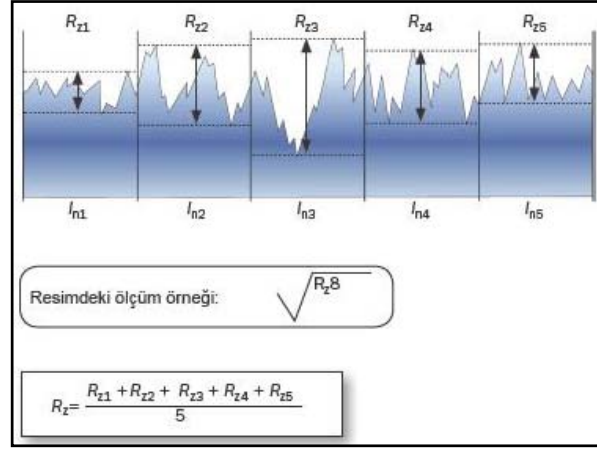
Şekil 3.8.  $R_a$  örnek yüzey şekli [35].

Yüzey yapıları çok farklı görünüp ancak yine de aynı  $R_a$ -değerini gösterir.

### 3.4.3. $R_{\text{max}}$ ( $R_z$ ) En Yüksek Pürüzlülük Değeri

Profilin maksimum yüksekliği, değerlendirme uzunluğuna dahil referans uzunlukları içerisindeki en büyük tepe yüksekliği ile en büyük vadi derinliği arasında elde edilen  $R_z$ , yani ayrı profil yüksekliklerinin ortalama değeridir. Normalde beş referans uzunluğu vardır ancak bu sayı modern ölçüm ekipmanları ile değişkenlik gösterebilir.

En yüksek sapmayı gösteren referans uzunluğundaki  $R_z$  değeri,  $R_{z\max}$  veya  $R_{\max}$  olarak adlandırılır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8.  $R_z$  örnek yüzey şekli [35].

#### 3.4.4. Bitirme Yüzeyleri, Yüzey pürüzlülüğü ve Ölçülmesi

Çeşitli metotlarla imal edilen bir iş parçası bu işlemler esnasında türlü mekanik, fiziksel, ısı ve kimyasal etkilere maruz kalır ve dolayısıyla bu parçanın yüzeyinin özellikleri genellikle bu parçanın iç tarafının özelliklerinden ehemmiyetli derecede farklılıklar gösterir. Bir parçanın mekanik özelliklerini genellikle parçanın iç tarafı (gövdesi) belirlemesine rağmen, imal edilen bir parçanın yüzeyi ehemmiyetli bazı özellikleri ve nitelikleri doğrudan etkiler [31].

- Daha sonraki işlemlerde takımlarla ve kalıplarla doğrudan temas ettiğinde yahut kullanılacağı yerde sürtünme ve aşınma özelliklerini,
- İmalat işlemi esnasında ve aynı zamanda kullanılacağı yerde yağlayıcının etkinliğini,
- Parçanın görünümünü ve geometrik özelliklerini ve parçanın maruz kalacağı boyama, kaplama, kaynaklama, lehimleme ve birleştirme işlemlerini ve aynı zamanda korozyon direncini,

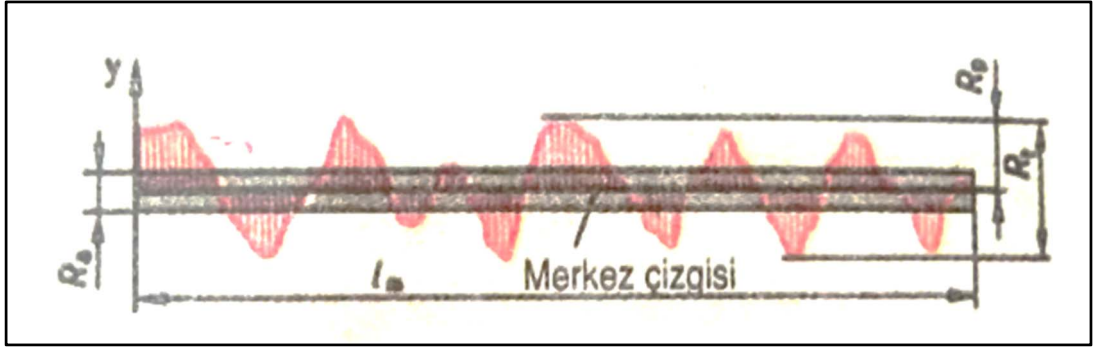
- d. Yorulma yahut diğer kırılma mekanizmaları vasıtasıyla parçanın zayıflamasına ve daha kısa sürede kırılmasına neden olan yüzey kusurlarından (pürüzlülük, çizikler (oluklar), izler ve ısıdan etkilenmiş bölgeler gibi) dolayı kırılma başlangıcını,
- e. Temas eden yüzeylerin ısıl ve elektrik iletkenliğini etkiler. Örneğin, kaba yüzeyler ince yüzeylerden daha yüksek ısı ve elektrik direncine sahiptir. Sürtünme, aşınma ve yağlama yüzey özellikleri olup triboloji olarak isimlendirilir.
- f. Sürtünme, kuvvetleri, güç gereksinimini ve parçaların yüzey kalitesini etkiler.
- g. Yüzey bütünlüğü yalnızca yüzeylerin geometrik özellikleri ile ilgili olmayıp aynı zamanda yüzeylerin mekanik ve metalurjik niteliklerini de tanımlar. İmalat işlemlerinde yüzey bütünlüğü dikkate alınması gereken ehemmiyetli bir faktördür çünkü yüzey bütünlüğü imal edilen bir parçanın yorulma dayanımını, korozyon direncini ve çalışma ömrünü etkiler.
- h. Parçanın imal edilmesinden yahut imal edilme esnasında meydana gelen türlü kusurlar, kusurlu yüzey bütünlüğünün nedenidir. Bu kusurlar çoğunlukla orijinal iş parçasındaki kusurlardan, yüzeyin imal edilmesi metodundan ve aşırı derecede gerilme ve sıcaklığa neden olan işlem parametrelerinden kaynaklanır [31].

#### **3.4.5. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Değerleri**

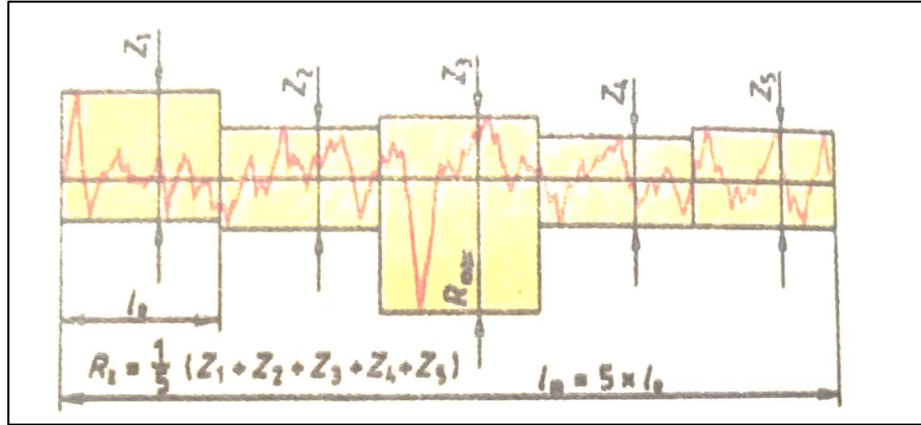
Pürüzlülük ölçme değerleri yüzey pürüzlülük profilinden oluşur ve  $\mu\text{m}$  olarak belirtilir

- a. Ortalama pürüzlülük değeri  $R_a$ , Merkez çizgisindeki profil mesafelerinin aritmetik ortalama değeridir (Şekil 3.9).
- b. Ortalaması alınan pürüzlülük değeri  $R_z$ , birbirini takip eden beş ayrı grubun bireysel ayrı ayrı yüzey pürüzlülük değerinin ( $Z_1$ 'den  $Z_5$ 'e kadar) aritmetik ortalamasını göstermektedir (Şekil 3.10).

- c. Maksimum pürüzlülük derinliği  $R_{max}$ , ölçme çizgisi üzerinde meydana çıkan en büyük yüzey pürüzlülük derinliğidir (Şekil 3.10).
- d. Perdahlama Derinliği  $R_p$ ' de yüzey pürüzlülük profilinin merkez çizgisinden en büyük sapma mesafesidir (Şekil 3.10) [39].



Şekil 3.9. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü [39].

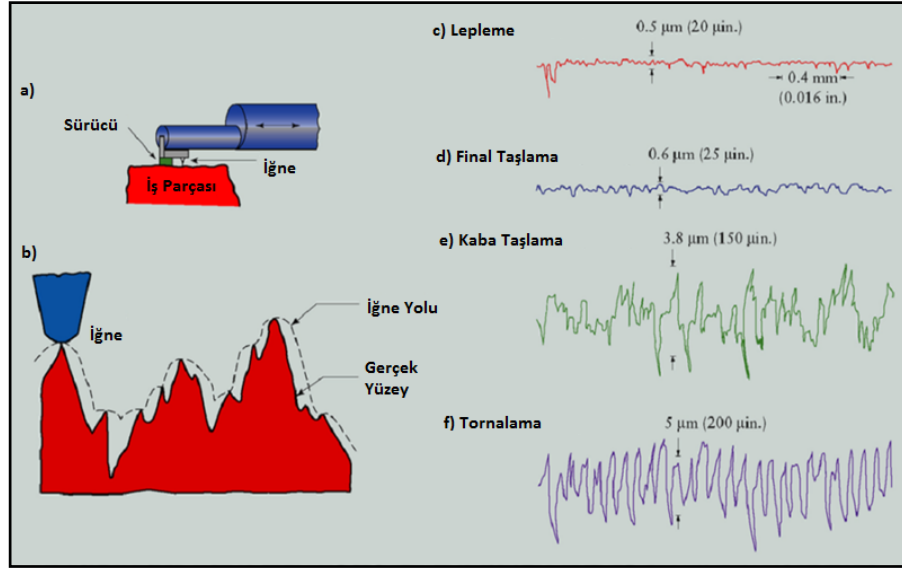


Şekil 3.10. Maksimum ve ortalama yüzey pürüzlülük derinliği [39].

### 3.4.6. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Yüzey pürüzlülüğünü ölçmek ve kaydetmek için “yüzey profilometresi” olarak isimlendirilen türlü ticari cihazlar kullanılır. En yaygın olarak kullanılan cihaz, yüzey üzerinde doğru bir hat boyunca bir yol takip eden elmas izleyici uca sahiptir, (Şekil 3.11) [31].





Şekil 3.11. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü [31].

- İzleyici bir uç,
- Lepleme,
- İnce taşlama,
- Kaba taşlama
- Tornalama

Yüzey pürüzlülüğünü belirgin hale getirmek için profilometre izleri düşey düzlemde büyütülerek kaydedilir. Düşey düzlemdeki girintiler ve çıkıntılar yatay düzlemdekilerden birkaç kat daha büyük olarak gösterilir [31].

### 3.4.7. Yüzey Pürüzlülüğünün Önemli Olduğu Durumlar

Yüzey pürüzlülüğü malzemenin birbirleriyle yahut çalışma ortamlarına göre önemiyet arzettekte ve imalata ehemmiyetli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda belirtilmiştir:

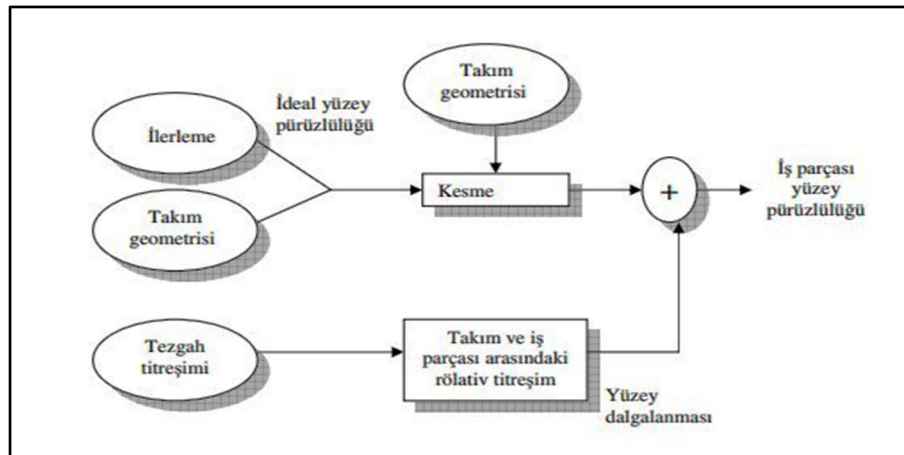
- Sürtülmeli yataklar,
- Korozyon ortamında çalışan parçalar,
- Yuvarlanmalı yataklar,

- d. Boyanmış ve kaplanmış yüzeyler,
- e. Sızdırmazlık yüzeyleri,
- f. Plastik enjeksiyon kalıp yüzeyleri,
- g. Masterlar [27].

### 3.4.8. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler

Bütün talaş kaldırma işlemlerinde temel gaye iş parçasında istenilen geometri ve hassas bir bitirme yüzeyi oluşturmaktır. Talaş kaldırma işlemlerinde; istenilen geometri ve yüzey pürüzlülüğü olmak üzere iki ehemmiyetli kalite karakteristiği üzerinde durulmaktadır. Talaş kaldırma işlemlerinde talaş akışı ve malzeme taşınışının oldukça karmaşık olmasından dolayı matematiksel modellenenilmesi için çoklu değişkene ihtiyaç vardır. Bu karmaşık yapıya rağmen, kısmen yüzey pürüzlülüğünün kontrolü, öncelikli olarak üç ehemmiyetli talaş kaldırma değişkeni olan kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği için uygun değerler seçilerek sağlanabilir. Genel olarak, talaş derinliği ve ilerleme miktarının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğü miktarı artarken, buna zıt olarak kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülük değerleri azalmaktadır [26].

Şekil 3.12’da yüzey pürüzlülüğüne etkileyen faktörler görsel olarak ele alınmıştır.



Şekil 3.12. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler [26].

Talaşlı imalat esnasında yüzey pürüzlülüğüne etki eden genel faktörler şunlardır;

- a. Takım tezgahının rijitlik durumu,
- b. Yataklama sisteminden kaynaklanan hatalar,
- c. Takım tutucu rijitlik durumu,
- d. Takım geometrisi,
- e. Takım aşınmasının etkisi
- f. Kesme parametreleri,
- g. Malzemenin mekanik özellikleri,
- h. Soğutma sıvısının etkileri [50].

Genelde yüzey pürüzlülüğü değerleri olarak taşlama işlemi için 0,05-1,6  $\mu\text{m}$ , finiş tornalama için 0,1 den 1,0  $\mu\text{m}$ , frezeleme ve kaba tornalama için ise 1,6  $\mu\text{m}$ 'den daha yüksek olan Ra değerleri kabul edilebilir [30].

## BÖLÜM 4

### KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLER (KGDD)

#### 4.1. GİRİŞ

Dökme demir ailesinde bulunan küresel grafitli dökme demirler, sfero, nodüler olarak ta bilinir. Türk standartlarında adı “Küresel Grafitli Dökme Demir” olarak bilinir. Küresel grafitli dökme demir, adını bünyesinde bulunan grafitlerin küresel biçimde oluşundan alır. Bu durum sıvı kır dökme demire genellikle az miktarda magnezyum (yahut seryum, kalsiyum, lityum) ilavesiyle elde edilir. Ekonomikliği sebebiyle Mg sanayide yaygın olarak kullanılır. Günümüzde birçok yerde; gri dökme demir, dökme çelik ve demir olmayan birçok alaşımların yerine yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu işlevselliği çeliğin mekanik özelliklerine, dökme demirin fiziksel ve üretim özelliklerine sahip olmasıyla kazanmıştır. Küresel grafitli dökme demirin kimyasal bileşimi genel olarak aşağıdaki sınırlar içinde bulunur (Çizelge 4.1) [29].

Çizelge 4.1. KGDD Genel kimyasal içeriği [29].

Karbon (C)	Silisyum (Si)	Mangan (Mn)	Fosfor (P)	Kükürt (S)	Magnezyum (Mg)
3,00 – 4,00	2,00 – 3,00	0,1 – 0,9	0,10 (max)	0,02 (max)	0,030–0,080

#### 4.2. KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRİN ÖZELLİKLERİ

Çekme mukavemeti yapısına ve uygulanan işlemlere göre çeşitlilik göstererek 35 kg/mm<sup>2</sup> ile 100 kg/mm<sup>2</sup> arasında değişir. Akma noktaları oldukça yüksek olduğundan ağır yükleri kalıcı deformasyon olmadan taşıyabilirler. KGDD’in elastisite modülü de iyi derecededir. Dayanma oranları (Yorulma mukavemeti /

Çekme mukavemeti) dövme karbonlu çeliklerden yüksektir. Dirençleri de dökme demirlerin genel karakteristiğinde olduğu gibi oldukça yüksektir. Dinamik ve statik yükler altında gelişi güzel dağılmış gerilmelere karşı oldukça mukavimdirler. Titreşim sönümlemede dökme demirlerden zayıf olsa da çeliğe göre oldukça iyidir [28].

Bünyesinde bulundurduğu küresel grafitlerin çatlakların ilerlemesine karşı gösterdikleri tepki sayesinde küresel grafitli dökme demirler ani sıcaklık değişimlerinde oluşan termik şoklara karşı oldukça dayanıklı olurlar. Çelikten daha iyi korozyon direncine sahiptirler. Talaşlı işlemeye uygundur. Çeliğe uygulanan ısıl işlemler; küresel grafitli dökme demirlere de uygulanabilir. Bu sebepten de kendine geniş bir kullanım sahası bulur. Düşük yoğunluğu sayesinde, aynı boyutlarda çeliğe nazaran ağırlığı %10 daha azdır [34].

### 4.3. ALAŞIM ELEMENTLERİ

Alaşım elementlerinden çil oluşumu ve matris yapısına etki edenler birincil alaşım elementi, grafit yapısı ve küreselleşmeye etki eden elementlerde ikincil alaşım elementi (Çizelge 4.2) olarak adlandırılmaktadırlar [48].

Çizelge 4.2. İkincil elementlerin grafit yapısına etkileri [49].

Element Sınıfı	Element
Küreselleştirici	Magnezyum, Seryum, Kalsiyum, Nadir Toprak Metalleri, Lityum
Küreleşmeye Etkisiz	Demir, Karbon, Alaşım Elementleri
Küreleşmeyi Azaltıcı	Alüminyum, Titanyum, Arsenik, Bizmut, Kurşun, Kükürt, Antimon

### 4.4. KGDD'İN SINIFLANDIRILMASI

Küresel grafitli dökme demirler dünya üzerinde türlü normlara göre sınıflandırılmaktadır. Ülkemiz sanayisinde en çok kullanılan, TSE (Türk Standartları Enstitüsü) ve Alman (DIN) standardına göre dökme demirlerin sınıflandırılması

Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te verilmektedir. Burada DDK ve GGG sembolleri dökme demir küresel grafit anlamına gelmektedir [41].

Çizelge 4.3. TSE 526 Standardına göre KGDD'in sınıflandırılması [41].

Kısa Gösterilişi	Çekme Dayanımı, Kg/mm <sup>2</sup>	Akma Dayanımı, Kg/mm <sup>2</sup>	Kopma Uzaması, %	Sertlik HB	Mikro yapı
DDK 40	42	28	12	140-201	Daha çok Ferritik
DDK 50	50	35	7	170-241	Ferrit + Perlit
DDK 60	60	40	3	192-269	Perlit + Ferrit
DDK 70	70	45	2	229-302	Daha Çok Perlitik
DDK 80	80	50	2	248-352	Perlitik
DDK 35.3	35	22	22	-	Ferritik
DDK 40.3	40	25	18	-	Ferritik

(-) Darbeli çalışması öngörülen tiplerdir.

Çizelge 4.4. DIN Standardına göre KGDD'in sınıflandırılması [38].

Malzeme	Çekme Dayanımı, Kg/mm <sup>2</sup>	Akma Dayanımı, Kg/mm <sup>2</sup>	Kopma uzaması, %
GGG-40	40	25	15
GGG-50	50	32	7
GGG-60	60	38	3
GGG-70	70	44	4
GGG-80	80	50	2

#### 4.5. KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRİN KULLANIM ALANLARI

Küresel grafitli dökme demirler birçok uygulamada kullanılabilirler, özellikle de bunlar mukavemet ve sertlik gerektiren durumlardır. İyi dökülebilirlik ve düşük maliyetiyle beraber, madencilikten, metalürjiye, makine, ziraat, inşaat, kimya, ulaştırma v.b. birçok alanda kullanılmaktadır. Bunlar içinde; kırıcı gövdeler, konveyör dirsekleri, pompa gövdeleri, alüminyum ve kurşun ergitme potaları, cüruf potaları, pres makineleri, kalıplama dereceleri, sıcak hadde merdaneleri, hidrolik presler, silindirler, krank presleri dişlileri, akslar, dişliler, diferansiyel dişli kutuları, traktör parçaları, transmisyon kutuları, pedallar, ön tekerlek çatalları, kreyn parçaları, beton karıştırıcı parçaları, yol inşaatı makineleri, kurutma silindirler, uçak konstrüksiyonlarında, volanlar, tekerlek kalıpları, kompresör gövde ve kafaları, gaz türbini kompresör kutuları, brülör gövdeleri ve fırın parçaları sayılabilir [29].

## BÖLÜM 5

### DENEY DİZAYNI

#### 5.1. GİRİŞ

Deneyler, araştırmacılar tarafından bir sistemi yada belirli bir sureci tanımlamak ve anlamak için kullanılır. Literatürde bir deney aynı zamanda bir testtir. Bir süreç yada sistemin girdilerinde değişiklik yapılarak çıktıların gözlemlenmesi ve analiz edilmesidir [51].

Mühendislikte, ürün ve süreç geliştirmede deneysel çalışmalar ehemmiyetli bir rol oynar. Deney Dizaynı ilk olarak 1920'lerde unlu İngiliz istatistikçi R.A. Fisher ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. Fisher aynı zamanda gözlemlenen veri gruplarının ortalamaları arasında ehemmiyetli farklılıklarının olup olmadığının ölçülmesinde kullanılan varyans analizi (ANOVA) tekniğini de geliştirmiştir. Fisher aritmetik düzenlemenin en uygun yolunun varyans analizi olduğunu söylemiştir [52].

Deney dizaynının en temel amaçlarından biri deney hatalarını minimuma indirmektir [53].

Deney dizaynı için bir kontrol listesi oluşturmuşlardır. Bunlar;

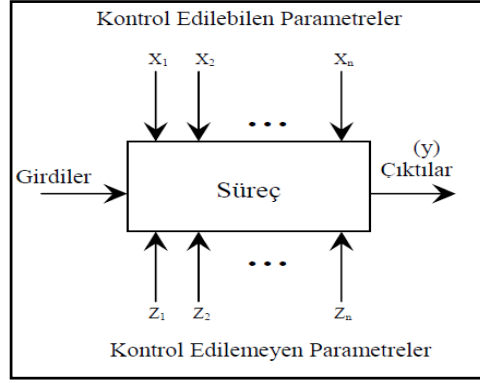
- a. Deneyin maksat ve hedeflerinin belirlenmesi
- b. Bütün değişken özelliğe sahip kaynaklarının tanımlanması
- c. Deney üniteleri
- d. Kontrol edilebilen faktörler
- e. Kontrol edilmeyen faktörler
- f. Bloklama işlemleri
- g. Uygulamada deneyi ünitelere ayırmak için bir kuralın belirlenmesi
- h. Deneyin ölçü birimlerinin belirlenmesi



- i. Pilot bir uygulama yapılması
- j. Pilot uygulamadan sonra model oluşturulması
- k. Analiz için bir çerçeve oluşturulması
- l. Kaç adet gözlem yapılacağıının hesaplanması
- m. Gözden geçirme ve revizyon [51].

Genel olarak deneyler sistemin ya da sürecin performansını ölçmede de kullanılır. Bir deney modeli Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Burada deneyin gerçekleştirilmesi sürecinde, deneyde kullanılacak parametreler bir takım girdilerdir. Bunlar makine, teçhizat, yöntem ve insan kaynakları gibi girdi türleri olabilir. Parametreler iki şekilde deneye etki eder, bunlar kullanıcı tarafından bizzat kontrol edilebilen parametreler, mesela kullanılacak malzemelerin çeşitleri, sıcaklık farklılıkları, karışım oranları gibi parametrelerdir. Kontrol edilemeyen parametreler ise kullanıcının müdahale edemediği çevre sıcaklığı, nem oranı, sıcaklık değişimi, nakliye gibi daha akla gelmeyen birçok sebeplerdir. Bir deney dizaynında kontrol edilemeyen parametreler mutlaka göz önüne alınmalıdır. Şekil 3.17’de X1, X2 ve X3 kontrol edilebilen parametreler ve Z1, Z2 ve Z3 ise kontrol edilemeyen parametrelerdir. Deney sonucunda elde edilecek çıktılar su sorulara cevap vermelidir [51].

- a. y Çıktısını en fazla etkileyen parametre hangisidir?
- b. y çıktısı en az, nominal yada en yüksek değerde istendiği zaman, X parametrelerinin konumları ne olmalıdır?
- c. Z1, Z2 ve Z3 kontrol edilmeyen parametreleri minimize etmek için kontrol edilebilen (X) parametrelerin konumları ne olmalıdır? [51].



Şekil 5.1. Bir sistem ya da sürecin genel modeli [40].

Deney dizaynı diğer bilimsel disiplinlere benzer ve kendine has terminoloji ve metodolojiye sahiptir. Bilindiği gibi deneysel çalışmalarda çok sayıda deneyler yapılır. Bu deneyler laboratuvar ortamında, pilot uygulama, tam uygulama yada klinik olarak yapılabilmektedir. Deney çalışmaları bilimin merkezinde yer almaktadır. Deney dizaynı sebep ve etki ilişkisini belirlemek için planlanmış bir yaklaşımdır [52].

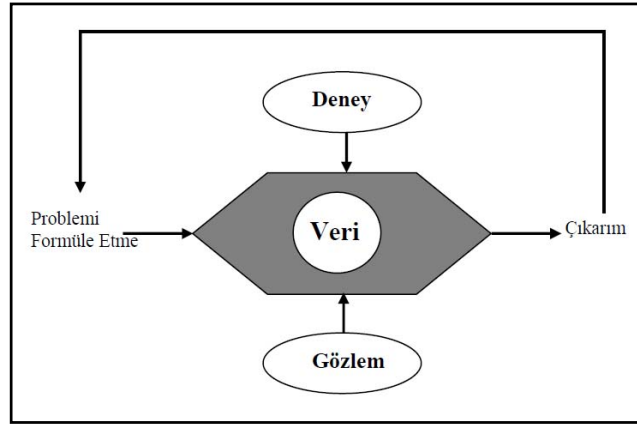
Deney dizaynı için şunlar gereklidir.

- Toplam deney sayısını azaltmak,
- Dizayncının formüle ettiği etkinliği eş zamanlı olarak değiştirebilmek,
- Doğru bir deney stratejisi belirlemek.

Eğer bir deney doğru bir şekilde tasarlanırsa, en iyi sonuç için veriler doğru bir şekilde toplanmış olacaktır. Bundan dolayı deney dizaynı yapılırken aşağıdaki sorulara cevap verilecek şekilde dizayn yapılmalıdır:

- Sonuçlar ve parametrelerin etkisi hesaplanabiliyor mu?
- Sonucu kaç tane parametre etkiliyor?
- Es zamanlı olarak kaç tane parametre hesaba katılmalı?
- Kaç tane deney tekrarının yapılması gerekiyor?
- Ne tür bir veri analizi (regresyon, ANOVA) kullanılmalı?
- Etkiler üzerindeki hangi seviye farklılıkları ne kadar önemlidir? [52].

Veriler deneysel yada gözlemsel çalışmaların merkezindedir. Deneysel çalışmaların en temel problemlerinden biri de çıkarımların formüle edilmesidir. Şekil 5.2’de görüldüğü gibi veriler deneysel çalışmaların ve gözlemlerin kesişim noktasında olmalıdır. Deneysel çalışmalarda değişkenlerin kaynağı her bir test için kontrol edilebilir yada sabitlenebilir. Ancak gözlemsel çalışmalarda değişkenler kontrol edilemezler sadece veri olarak kaydedilebilirler [43].



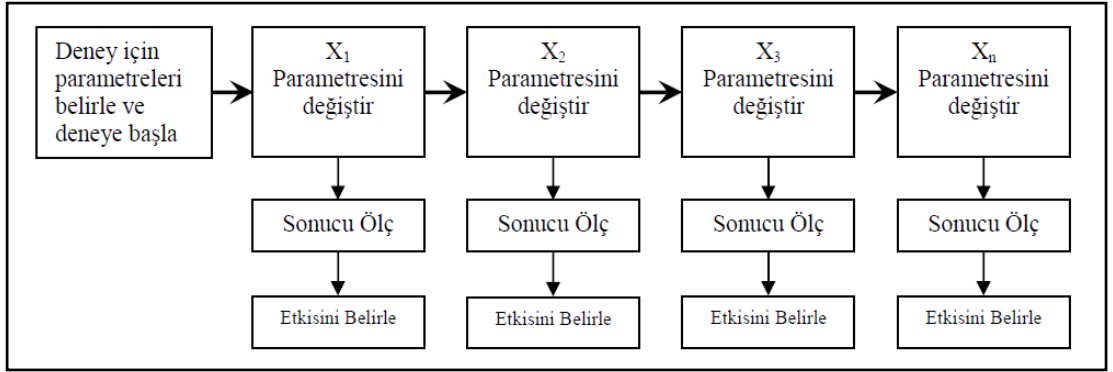
Şekil 5.2. Bilimsel çalışmalarda istatistiksel girdi düzeyi [43].

İstatistiksel deney dizaynının amacı minimum zaman, kaynak ve harcama ile maksimum anlamlı verileri toplamaktır. Bundan dolayı deney dizaynı geleneksel yöntemlerden uzak ve araştırmalara yeni bir yaklaşım getirir. Geleneksel deney dizayn metodları yüksek malzeme maliyeti, uzun zaman ve kaynak gerektiren yöntemlerdir. Her bir parametrenin deney üzerindeki etkisini araştırmak için diğer bütün parametreler sabit tutularak her seferinde bir parametre denir. Bu durumda parametrelerin aynı anda 4 yada 5’den fazla seviyeleri olamaz. Örnek vermek gerekirse 5 parametrelili bir çalışmada her bir parametre 5 seviyeye sahip olursa toplam  $5^5=3125$  farklı kombinasyon denenmesi gerekmektedir. Eğer deneysel hataları azaltmak için her bir deney en az 3 sefer tekrar edilmiş olsa toplam  $3125 \times 3=9375$  deney yapılması gerekmektedir. Sonuç olarak klasik yada geleneksel yöntemlerle yapılan deney çalışmalarında es zamanlı analiz mümkün olamamaktadır. Bütün bu problemler statiksel deney dizayn metodları ile giderilebilir, aynı zamanda 25 deney ve istenilen tekrar sayısı ile çok yakın sonuçlar elde edilebilir. Bütün gözlemsel çalışmaların metodolojisi iki büyük gruba bölünür. Bunlar klasik ya da pasif metodoloji ve aktif ya da istatistiksel metodolojidir [54].

## 5.2. KLASİK METODOLOJİ DENEY DİZAYNI

Klasik yada geleneksel yöntem ile yapılan deney çalışmalarında, her seferinde bir parametre değiştirilir ve diğer bağımsız parametreler sabit tutulur. Yani herhangi bir değişiklik yapılmaz. Bu metotta sistemin parametrelerinin arasında o sürede değişiklik yapılan parametrenin sisteme etkisinin analizi yapılır Bu metot her bir parametre için bir başlangıç noktası yada baz seviye seçmekle başlar. Seçilen parametre dışındaki diğer parametreler kendi baz seviyesinde sabit tutulur. Seçilen parametreler kendi aralığı içerisinde değiştirilerek çalışmaya etkisi araştırılır [23].

Şekil 5.3’de görüldüğü gibi bir ürün geliştirmede yada üretim problemini çözmek için klasik metodoloji ile yapılan deney dizaynında, deney için parametreler belirlenir ve deneye başlanır. Deneyde  $X_1$  parametresi değiştirilir, deneyin sonucu ölçülür ve deneye etkisi belirlenmeye çalışılır bu sırada diğer parametreler sabit tutulur. Klasik metodoloji ile yapılan deney çalışmasında deneyi etkileyen dış faktörler (kontrol edilemeyen) çok fazla hesaba katılmaz [54].



Şekil 5.3. Klasik metodoloji ile yapılan deney dizaynı ve ölçümü [54].

## 5.3. İSTATİSTİKSEL METODOLOJİ DENEY DİZAYNI

İstatistiksel olmayan deney dizayn metotları uygulandığında varyasyon ve regresyon analizi neticeleri bazen etkin sureci yada işlemi belirlemeyebilir. Örneğin bir regresyon analizi bir işlemin sonucu etkileyecek sıcaklığın etkisini tam olarak belirlemeyebilir. Bundan dolayı bir araştırmacı işlemin sonucunu iyileştirmek için bir sıcaklık ayarlaması yapmaz. İşlem sırasında sıcaklığın normal dalgalanmasından

dolayı sapmalar meydana gelebilir. Bu dalgalanma istatistiksel olarak bulunabilecek büyüklükte değildir. Bu tür kısıtlar ve hatalar istatistiksel deney dizaynı yöntemi ile giderilir [21].

Deney dizaynında klasik yöntemlerin yetersizliği istatistiksel deney dizaynı metotları ile giderilmiştir. İstatistiksel deney dizaynında farklı metotlar kullanılmaktadır. Bunlar [52];

- a. Tam faktöriyel
- b. Kesirli faktöriyel
- c. Taguchi metodu

Çizelge 5.1. Tam faktöriyel deney dizaynı çizelgesi [52].

Deney Sayısı	Parametre ve seviyeleri			Sonuç
	P1	P2	P3	
1	1	1	1	S <sub>1</sub>
2	1	1	2	S <sub>2</sub>
3	1	2	2	S <sub>3</sub>
4	1	2	1	S <sub>4</sub>
5	2	1	1	S <sub>5</sub>
6	2	1	2	S <sub>6</sub>
7	2	2	1	S <sub>7</sub>
8	2	2	2	S <sub>8</sub>

### 5.3.1. Tam Faktöriyel Deney Dizaynı

Tam faktöriyel deney dizaynı istatistiksel metotlar ile birleştirildiğinde analiz edabında araştırmacılara büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Çizelge 5.1. deki örneğe göre her bir parametrenin etkisi ve birbirleri ile olan etkileşimi araştırıldığında basit olarak ortaya şöyle bir denklem ortaya çıkar [52].

$$EX1=(S1+S2+S3+S4)/4-( S5+S6+S7+S8)/4 \quad (5.1)$$

$$EX2=(S1+S2+S5+S6)/4-( S2+S3+S7+S8)/4 \quad (5.2)$$

$$X3=(S1+S4+S5+S7)/4-( S2+S3+S6+S8)/4 \quad (5.3)$$

$$EX1X2=(S1+S2+S7+S8)/4-( S3+S4+S5+S6)/4 \quad (5.4)$$

$$EX1X3=(S1+S4+S6+S8)/4-( S2+S3+S5+S7)/4 \quad (5.5)$$

$$EX2X3=(S1+S3+S5+S8)/4-( S2+S4+S6+S7)/4 \quad (5.6)$$

$$EX1X2X3=(S2+S4+S5+S8)/4-( S1+S3+S6+S7)/4 \quad (5.7)$$

Bilimsel olarak deney dizaynı 3 temel prensibe sahiptir. Bunlar; deney tekrarı, deneyin sırasının rastgele yapılması ve deneyin bloklanmasıdır [53].

Deney sonrasında varyasyon analizinin yapılabilmesi için deneyin en az uc kez tekrar edilmesi gerekmektedir. Böylece deney istatistiksel olarak yorumlanabilir. Tam faktöriyel deneylerin analizinde ANOVA (Varyasyon Analizi) ve regresyon analizi kullanılmaktadır. Bu metotlar ile bir parametrenin deney üzerindeki etkisi hesaplanabilir. Varyasyon ve regresyon analizi teknikleri işlem sırasında bir değişiklik yapmadan farklılıkların kaynağının belirlenmesine yardımcı olur [21].

### 5.3.2. Kesirli Faktöriyel Deney Dizaynı

Tam faktöriyel deney dizaynında parametrelerin bütün seviyelerinin kombinasyonları tek-tek denendiğinden deney maliyetini arttırmakta ve çok zaman almaktadır. Yani tam faktöriyel deney tasarımında maksimum zaman ve maliyet söz konusudur. Tasarım yaparken deneyden elde edilecek veriler ile harcanan maliyet ve zaman arasındaki bağıntı çok önemlidir. Maliyetten ve zamandan kazanmak için deney sayısının orantılı olarak azaltarak kesirli faktöriyel deney tasarımı elde edilir. Örneğin 7 parametrelili ve 2 ser seviyeli bir deney tam faktöriyel olarak yapıldığında  $2^7 = 128$  deney yapılması gerekir bunun  $\frac{1}{2}$  kesiri yani 64 deney yada  $\frac{1}{4}$  kesri yani 32 deney

yada  $1/8$  kesri yani 16 deney ile yapılabilir. Deney sayısını kesirli olarak azaltmak tamamen araştırmacıların elindedir [54].

### **5.3.3. Taguchi Yöntemi**

Taguchi Yöntemi, parametre tasarımı, sistem tasarımı ve tolerans tasarımı üzerine kurulmuş bir deney tasarım ve optimizasyon yöntemidir. En yaygın olarak, kalite güvence sistemleri kapsamında toplanan verilerin, istatistiksel analizinde kullanılmaktadır. Taguchi'nin deney tasarım yöntemi, farklı parametrelerin, farklı seviyeleri arasından optimum kombinasyonu saptamak adına oldukça yararlı bir yöntemdir. Karmaşık parçalarının üretiminde kullanılan buharlaştırmalı dokum tekniğinde üretilen malzemelerin gerilme özelliklerinin optimize etmek için Taguchi deney tasarımını kullanılmıştır [37].

### **5.4. REGRESYON ANALİZİ**

Regresyon analizi, bağımlı değişken ile bir yahut daha fazla sayıda bağımsız değişkenleri arasındaki ilgiyi sayısal hale dönüştürmede kullanılan istatistiksel analizdir. Ayrıca, bilinen bulgulardan, bilinmeyen gelecekteki olaylarla ilgili tahminler yapılmasına izin verir. Regresyon, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi ve doğrusal eğri kavramını kullanarak, bir tahmin eşitliği geliştirir. Bağımsız değişken olarak bir değişken kullanılırsa basit regresyon, bağımsız değişkenler olarak iki yahut daha fazla değişken kullanılırsa çoklu regresyon analizinden söz etmek mümkündür. Amaç her bağımsız değişkenin bağımlı değişkendeki toplam değişime olan katkısının saptanması ve dolayısıyla bağımsız değişkenlerin doğrusal kombinasyonunun değerinden hareketle bağımlı değişken değerinin tahmin edilmesidir [33].

Değişkenler arasındaki ilişkiyi açıklamak için kullanılan matematiksel model regresyon modeli olarak adlandırılır [32].

### 5.4.1. Basit Doğrusal Regresyon

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad i = 1, \dots, \quad (5.8)$$

şeklinde bir bağımlı ve bir de bağımsız değişken içeren bir modeldir.

Y; Bağımlı (açıklanan) değişken

X; Bağımsız (açıklayıcı) değişken

$\beta_0$ ; Sabit olup, X=0 olduğunda Y'nin aldığı değerdir.

$\beta_1$ ; Regresyon katsayısı olup, X'in kendi birim cinsinden 1 birim değişmesine karşılık, Y'de kendi birimi cinsinden meydana gelecek ortalama değişme miktarını ifade eder, eğimdir.

$\varepsilon$ ; Hata terimi [17].

### 5.4.2. Parametrelerin Tahmini

Bir regresyon modeli oluşturulurken genelde en küçük kareler ve en büyük olabilirlik (maximum likelihood) teknikleri olarak bilinen iki yaklaşımdan birisi kullanılır. Eğer hata teriminin normal dağılım göstermesi şeklinde bir varsayım varsa en büyük olabilirlik, hata teriminin dağılışı ile ilgili herhangi bir varsayım söz konusu değilse en küçük kareler (EKK) tekniği kullanılarak değişkenler tahmin edilir. Tabii EKK yönteminin de uygulanabilmesi için türlü varsayımların sağlanması gerekir ve tahmin modeli öyle oluşturulur. Eğer kurulan regresyon modeli veriye uygun değilse alınan sonuçlar da yanıltıcı olacaktır [24].

Basit doğrusal regresyon analizinde bulunacak olan regresyon modellerinin tahmin amaçlı kullanılabilmesi için; hata terimlerinin ( $\varepsilon_i = Y_i - \hat{Y}_i$ ) rassal olup normal dağılım göstermesi, hataların beklenen değerinin 0 ve varyanslarının da sabit olup  $\sigma^2$ 'e eşit olması, hataların birbirinden bağımsız olması ( $cov \varepsilon_i, \varepsilon_j = 0$ ), hata terimleri ile bağımlı değişken arasında korelasyonun olmaması gibi bazı varsayımların sağlanması gerekmektedir. Bu varsayımlardan birisinin sağlanamaması durumunda EKK tahminleri kararlı ve küçük varyanslı olma özelliğini kaybederek yanlı, tutarsız yahut etkisiz olacaktır [17].



### 5.4.3. Basit Doğrusal Regresyonda Parametrelerin EKK İle Tahmini

Anakütle regresyon modelinde yer alan  $\beta_0$  ve  $\beta_1$  parametrelerinin örneklemden elde edilen tahminleri  $\hat{\beta}_0$  ve  $\hat{\beta}_1$  olarak yazıldığında, tek değişkenli regresyon modeli

$$\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_i \quad i=1,2,\dots,n \quad (5.9)$$

biçimindedir. Modelde yer alan  $\beta_0$  ve  $\beta_1$  terimlerinin değerlerini bulmak için kullanılan EKK yönteminin temelini, toplam sapmaların karelerinin toplamını en küçük yapacak değerlerin bulunması oluşturmaktadır.

$$\hat{\varepsilon}_i = Y_i - \hat{Y}_i \quad (5.10)$$

eşitlikte verilen ifade ile hesaplanan hata terimleri pozitif, negatif ve sıfır değerine sahip olurken bu farkların toplamı

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i) = \quad (5.11)$$

olur. EKK yöntemi,  $\beta_0$  ve  $\beta_1$  parametrelerinin tahminleri olan  $\hat{\beta}_0$  ve  $\hat{\beta}_1$ 'nin farkını en küçük yapacak biçimde aşağıdaki gibi belirler.

$$\min \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \min \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{y}_i)(Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (5.12)$$

Burada regresyon katsayılarının EKK tahminlerini elde edebilmek için aşağıdaki eşitliğinin en küçük değerine  $L$  denilirse ve bu eşitlikte  $\beta_0$  ve  $\beta_1$ 'e göre kısmi türevler alınıp sıfıra eşitlendiğinde I. ve II. normal denklemleri elde edilir.

$$\min \sum_{i=1}^n \left( Y_i - \left( \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_i \right) \right)^2 = L \quad (5.13)$$

$$\sum_{i=1}^n Y_i = \hat{\beta}_0 n + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n X_i \quad (5.14)$$

$$\sum_{i=1}^n X_i Y_i = \hat{\beta}_0 \sum_{i=1}^n X_i + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n X_i^2 \quad (5.15)$$

Bu denklemler üzerinden gerekli çözümler yapıldığında  $\beta_0$  ve  $\beta_1$  parametrelerinin tahminleri olan  $\hat{\beta}_0$  ve  $\hat{\beta}_1$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{n[\sum_{i=1}^n X_i Y_i] - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{n(\sum_{i=1}^n X_i^2) - (\sum_{i=1}^n X_i)^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(X_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (5.16)$$

$$\hat{\beta}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n X_i}{n} = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X} \quad (5.17)$$

eşitlikleri elde edilir. Dolayısıyla, yukarıda EKK yöntemiyle tahmin edilen  $\hat{\beta}_0$  ve  $\hat{\beta}_1$  değerleri yerlerine yazılarak regresyon modeli oluşturulur [17].

#### 5.4.4. Çoklu Doğrusal Regresyon

Bir bağımlı değişken ve birden fazla bağımsız değişkenin yer aldığı regresyon modelleridir.  $k$  açıklayıcı değişkenden oluşan regresyon modelini her gözlem  $i$  için aşağıdaki gibi yazabiliriz:

$$y_i = \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_{2 \times 2i} + \hat{\beta}_{3 \times 3i} + \dots + \hat{\beta}_{k \times ki} + \varepsilon_i \quad (5.18)$$

$i = 1, \dots, n$

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{1} & x_{21} & x_{32} & \dots & x_{k1} \\ \mathbf{1} & x_{22} & x_{32} & \dots & x_{k2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{1} & x_{2n} & x_{3n} & \dots & x_{kn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \vdots \\ \hat{\beta}_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (5.19)$$

Böylece modeli aşağıdaki gibi ifade edebiliriz:

$$\underbrace{\mathbf{Y}}_{n \times 1} = \underbrace{\mathbf{X}}_{n \times k} \underbrace{\hat{\beta}}_{k \times 1} + \underbrace{\varepsilon}_{n \times 1} \quad (5.20)$$

Çoklu regresyon modellerinde de hata terimlerinin beklenen değerinin 0 ve varyanslarının da sabit olup  $\sigma^2$ 'e eşit olması, hata terimleri arasında ardışık bağımlılık olmaması ( $cov \varepsilon_i, \varepsilon_j = 0$ ), hata terimlerinin açıklayıcı değişkenlerden bağımsız olması, açıklayıcı değişkenler arasında tam doğrusal ilişki bulunmaması gibi bazı varsayımların sağlanması gerekmektedir [17].

#### 5.4.5. Çoklu Doğrusal Regresyonda Parametrelerin EKK Yöntemi İle Tahmini

Bilinmeyen parametre vektörü  $\beta$ 'nin EKK tahmin edicisi hata kareler toplamı minimum yapılarak bulunur.

$$\varepsilon = Y - X\hat{\beta} \text{ olmak üzere hata kareler toplamı;} \quad (5.21)$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 &= \varepsilon' \varepsilon \\ &= (Y - X\hat{\beta})' (Y - X\hat{\beta}) = (Y' - \hat{\beta}'X')(Y - X\hat{\beta}) \\ &= Y'Y - Y'X\hat{\beta} - \hat{\beta}'X'Y + \hat{\beta}'X'X\hat{\beta} \end{aligned} \quad (5.22)$$

olarak elde edilir.

$\hat{\beta}'X'Y$  için  $(\hat{\beta}'X'Y)' = Y'X'$  dir. Buna göre hata kareler toplamı;

$$\varepsilon' \varepsilon = Y'Y - 2\hat{\beta}'X'Y + \hat{\beta}'X'X\hat{\beta} \quad (5.23)$$

Normal denklemleri;

$$\frac{\partial(\varepsilon' \varepsilon)}{\partial \hat{\beta}} = -2X'Y + 2X'X\hat{\beta} = 0 \quad (5.24)$$

$$X'X\hat{\beta} = X'Y \quad (5.25)$$

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'Y \quad (5.26)$$

olarak elde edilir. Hata terimlerinin birbirleriyle ilişkisiz ve varyansları eşit varsayımı altında  $\hat{\beta}$ 'nin varyans-kovaryans matrisi aşağıda verilmiştir:

$$\begin{aligned}
V \hat{\beta} &= E[(\hat{\beta} - E(\hat{\beta}))(\hat{\beta} - E(\hat{\beta}))]^T \\
&= E[(\hat{\beta} - \beta)(\hat{\beta} - \beta)^T] \\
&= E[((X^T X)^{-1} X^T u)((X^T X)^{-1} X^T u)^T] \\
&= E[(X^T X)^{-1} X^T u u^T X (X^T X)^{-1}] \\
&= (X^T X)^{-1} X^T \underbrace{E(u u^T)}_{\sigma^2 I_n} X (X^T X)^{-1} \\
&= \sigma^2 (X^T X)^{-1} \underbrace{X^T I_n X}_{X^T X} (X^T X)^{-1} \\
&= \sigma^2 (X^T X)^{-1}
\end{aligned} \tag{5.27}$$

Bu formülde hata varyansı  $\sigma^2$  bilinmediğinden verilerden hareketle tahmin edilmesi gerekir “ $\sigma^2$ ”nin yansız bir tahmin edicisi aşağıdaki gibi bulunabilir:

$$\begin{aligned}
s^2 &= \frac{1}{n-k} \varepsilon' \varepsilon \\
s^2 &= \frac{1}{n-k} (Y - X\hat{\beta})' (Y - X\hat{\beta})
\end{aligned} \tag{5.28}$$

Öyleyse EKK tahmin edicilerinin varyans-kovaryans matrisi tahmin edicisi

$$\widehat{V(\hat{\beta})} = s^2 (X' X)^{-1} \tag{5.29}$$

Şeklinde yazılabilir. Bu matris  $k \times k$  boyutlu, simetrik, kare ve pozitif tanımlıdır. Köşegen elemanları EKK tahmin edicilerinin varyanslarını, köşegen dışı elemanlar ise kovaryansları ifade eder [17].

## BÖLÜM 6

### MATERYAL VE DENEYSEL METOT

#### 6.1. DENEY MALZEMESİ

Delik delme deneyleri EN-JS1020 tipi küresel grafitli dökme demirden üretilmiş aksenal pistonlu hidrolik pompa kapak plakaları (Şekil 6.1) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bu ürün yaklaşık 180 x 180 x 80 mm ölçülerinde yarı mamul olarak imalata gelmiştir (Şekil 6.2.). Özel olarak imal edilmiş bir bağlama kalıbı ile tezgaha bağlanmıştır. Çizelge 6.1’de mazlemenin kimyasal bileşimi verilmiştir.



Şekil 6.1. Hidrolik pompa kapak plakası.



Şekil 6.2. Hidrolik pompa kapak plakası ve bağlama kalıbı.

Çizelge 6.1. KGDD kimyasal bileşimi.

	Element	C	Si	Fe	Total
Kapak Plakası	EDX-Analizi 1	6,73	2,43	90,84	100,00
	EDX-Analizi 2	6,68	2,40	90,92	100,00
	EDX-Analizi 3	6,63	2,41	90,95	100,00

## 6.2. DENEYLERDE KULLANILAN TEZGAH

EN-JS1020 (EN-GJS-400-18) küresel grafitli dökme demir malzemedan yapılan kapak plakaları üzerine delik delme işlemi Bursa Sürücü ve Kontrol Firmasında bulunan DMC 80H model CNC yatay işlem merkezinde gerçekleştirilmiştir. CNC yatay işlem merkezinin (Şekil 6.3) çeşitli özellikleri Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. CNC yatay işlem merkezi teknik verileri.

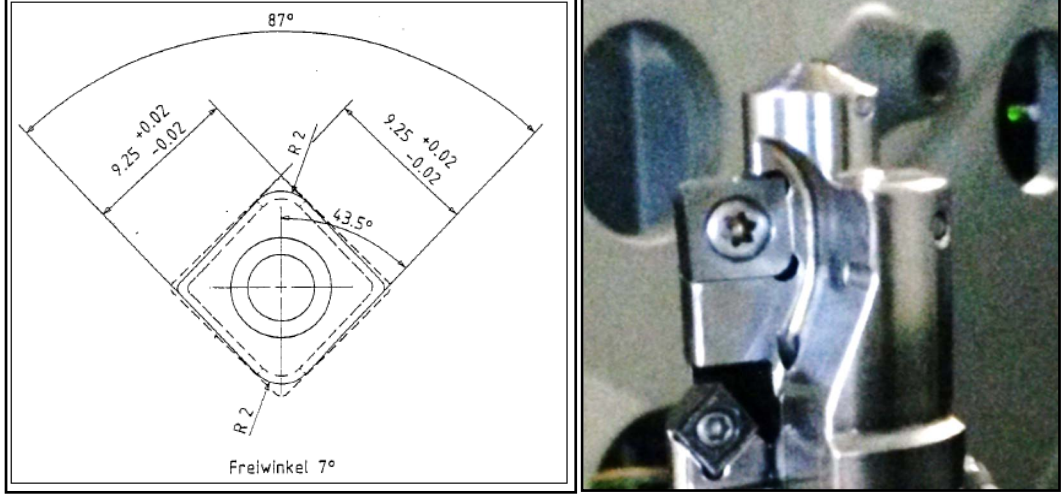
DECKEL MAHO	Yatay İşlem Merkezi	Eksen Hareket Mesafeleri
Siemens 840D	X-Ekseni	800 mm
	Y-Ekseni	710 mm
	Z-Ekseni	710 mm



Şekil 6.3. Deneylerin yapıldığı CNC tezgah.

### 6.3. KESİCİ TAKIM ÖZELLİKLERİ

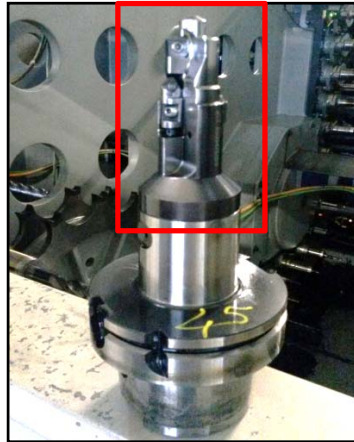
Delme işlemi için Boehlerit Firması tarafından özel üretilmiş SCGW09T304 formunda WV 0591 kodlu K tipi TiN kaplamalı karbür kesici takım kullanılmıştır (Şekil 6.4).



Şekil 6.4. TiN kaplamalı karbür kesici takım ve takım tutucu.

### 6.4. TAKIM TUTUCU ÖZELLİKLERİ

Boehlerit marka WE 00589 kodlu özel üretim takım tutucu kullanılmıştır. Şekil 6.5’de işaretli kısım özel üretim, diğer kısım ise makine standardına uygun olan takım tutucunun yerleştirildiği yuvadır.



Şekil 6.5. Boehlerit marka WE 00589 tipi özel takım tutucu.



## 6.5. METALOGRAFİ VE MİKROYAPI

Bursa Otomotiv Yan Sanayi Kalite Kontrol Departmanında bulunan optik mikroskop vasıtasıyla malzemenin mikro yapı fotoğrafları çekilmiştir. Küresel grafitli dökme demir mikroyapı incelemesi için bir parça kesilip (Şekil 6.6) elde edilen numune üzerinde incelemeler yapılmıştır. Bakalite alınan numune sırasıyla 80, 180, 320, 600, 800, 1000 ve 1200 gritlik zımpara ile zımparalanmış ve 3µm'lik elmas pasta süspansiyonu ile keçe üzerinde parlatılmıştır. Dağlama işlemi için methanol (%2 Nital) çözeltisi kullanılmıştır. Dağlanan numunelerin yüzeyi methanol ile temizlenip kurutulmuştur. Mikroyapı incelemeleri için Nikon marka Eclipse MA100 model optik mikroskop kullanılmıştır.



Şekil 6.6. Kapak plakasından analiz için kesilmiş numune.

## 6.6. ÖLÇÜM ÖNCESİ YIKAMA İŞLEMİ

Delinimiş deliklerin yüzey pürüzlülük değerlerini ölçmeden önce temizlik işlemi uygulanmıştır. Temizlik işlemine ait ayrıntılar Çizelge 6.3'de verilmiştir. Temizlik işlemi Leano Mat marka yıkama makinesi içerisinde yapılmıştır (Şekil 6.7).

Çizelge 6.3 Temizlik parametreleri.

	Yıkama parametreleri
Kimyasal	Henkel P3 Neutracare 400
Konsantrasyon	% 1 (+0,5/-0,5)
Tank Kapasitesi	80 Litre
Sıcaklık	35 ± 5 °C
Yıkama Süresi	150 s
Kurutma İşlemi	Basınçlı Hava



Şekil 6.7. Leano Mat marka yıkama makinesi.

## 6.7. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜM CİHAZI

İşlenmiş yüzeyler üzerinde yüzey pürüzlülük ölçümleri için Bursa Sürücü ve Kontrol Firması kalibrasyon laboratuvarında bulunan Marsurf LD 120 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülük ölçümleri 0,8 mm kesme (cut-off) uzunluğu ve 5,6 mm örnekleme (sampling) uzunluğu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri deney numunesinin eksenine paralel olacak şekilde yapılmıştır. Elde edilen pürüzlülük değerlerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve maksimum pürüzlülük değeri (Rmax) ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı Şekil 6.8'de verilmiştir. 352 adet Ra ve 352 adet Rmax yüzey pürüzlülüğü ölçümü alınmıştır.



Şekil 6.8. Yüzey pürüzlüğü ölçüm cihazı.

## 6.8. SERTLİK ÖLÇÜMÜ

Sertlik değerleri Brinell ölçeğinde kapak plakası üzerinde 3 farklı noktadan belirlenmiştir. 5 mm çapında çelik bilye kullanılarak 750 kg'lık kuvvet 10 s süre ile uygulanmıştır. Şekil 6.9'da BMS 3000 -OB sertlik ölçüm cihazında ölçülmüştür.



Şekil 6.9. Setlik ölçüm cihazı.

## 6.9. DENEY DEĞİŞKENLERİ

Deneyleyler TiN kaplamalı karbür kesici takım ile 113.04 m/dk kesme hızında 140 mm/dk ilerme ve 1500 dev/dk parametreleri ile delme işlemi gerçekleştirilmiştir. Çizelge 6.4'de deney parametreleri verilmiştir.

Çizelge 6.4. Deney parametreleri.

İlerleme Hızı	f (mm/dk)	140
Kesme Hızı	Vc (m/dk)	113,04
Devir Sayısı	N (dev/dk)	1500
Kesici Çapı	d (mm)	24
Derinlik	mm	74

4 adet kapak plakasının ilk delme işleminden 60. delme işlemine kadar 8 adet delik için yüzey pürüzlülük ölçümü, 60. delme işleminden 920. delme işlemine kadar her 20 delme işleminde 8 adet ölçüm alınmıştır. Toplamda Ra için 352, Rmax için 352 yüzey pürüzlülük değeri kayıt edilmiştir. 920. ile 940. arası elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Rmax18,2 değeri elde edildiği için deneyler durdurulmuştur. Bu ölçüm değerleri önce Minitab daha sonra da Matlab istatistik programlarında regresyon analizi yapılarak formüle edilmiştir.

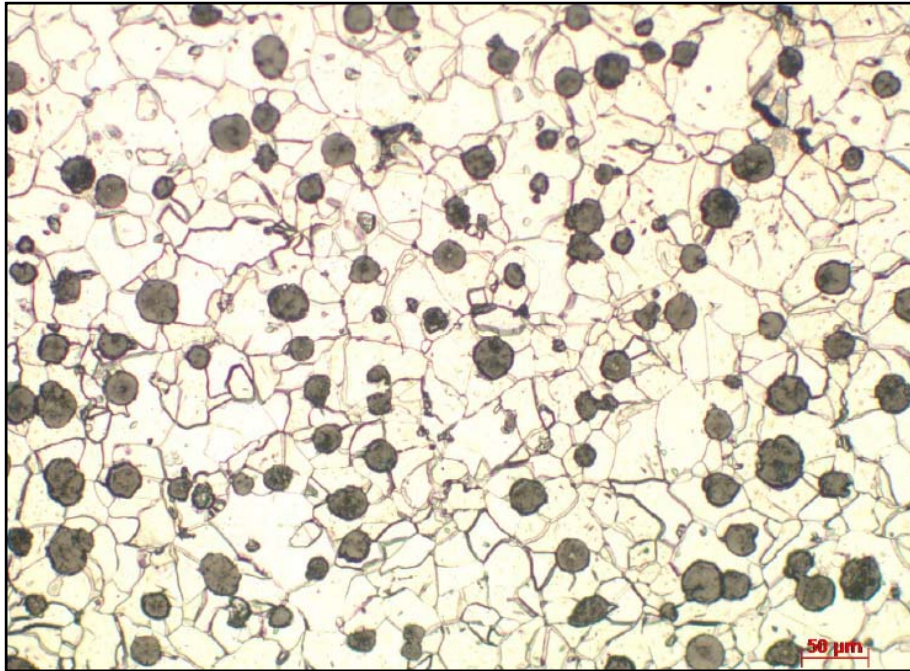
## BÖLÜM 7

### DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

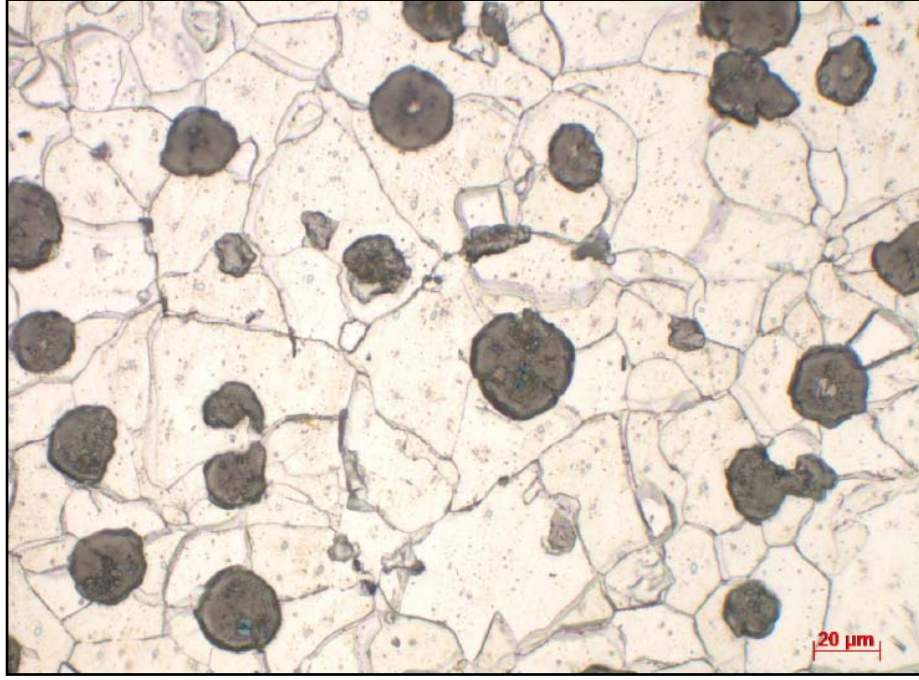
Yapılan bu çalışmada KGDD'den imal edilen kapak plakalarının TiN kaplamalı karbür kesici takımlarla delinmesi sonucu elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri incelenmiştir.

#### 7.1. KDDD MALZEME YAPISI

Pompa kapak plakasından kesilen bir parça mikroyapı analizi için kullanılmıştır. Şekil 7.1 ve Şekil 7.2'de mikroyapı analizlerinin 200x ve 500x'deki görüntüleri verilmektedir. Mikroyapı fotoğraflarından grafitlerin genellikle tane sınırlarında homojen olarak dağıldığı görülmektedir. Ayrıca, grafitlerin küresel olduğu görülmektedir.



Şekil 7.1. Kapak plakası mikroyapı görüntüsü 200x.



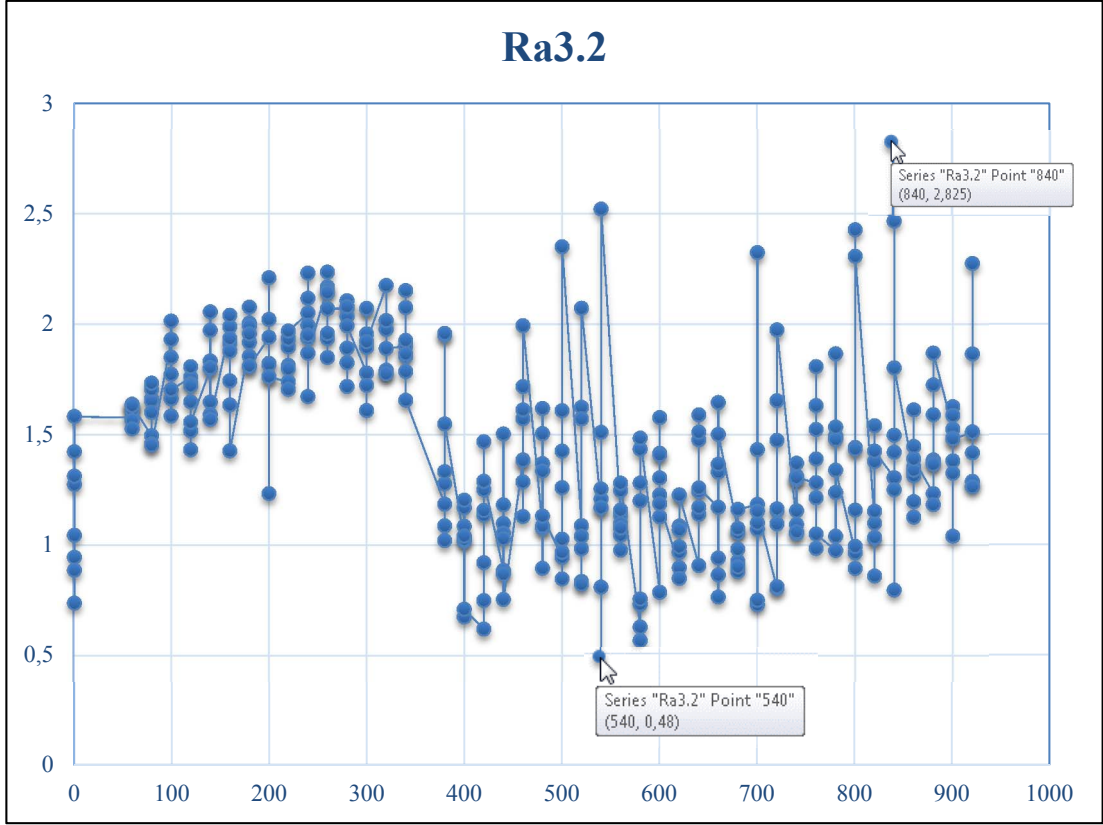
Şekil 7.2. Kapak plakası mikroyapı görüntüsü 500x.

Kapak plakası üzerinden üç farklı noktadan 750 kg yükün 10 s süre ile uygulanması sonucu elde edilen sertlik değerleri 132, 136 ve 133 HB olarak elde edilmiştir.

## 7.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri Ra ve Rmax olarak belirlenmiştir. 352 adet Ra yüzey pürüzlülüğü ve 352 adet Rmax yüzey pürüzlülüğü ölçümünden elde edilen değerler grafikler olarak Şekil 7.3 ve Şekil 7.4’de verilmiştir.

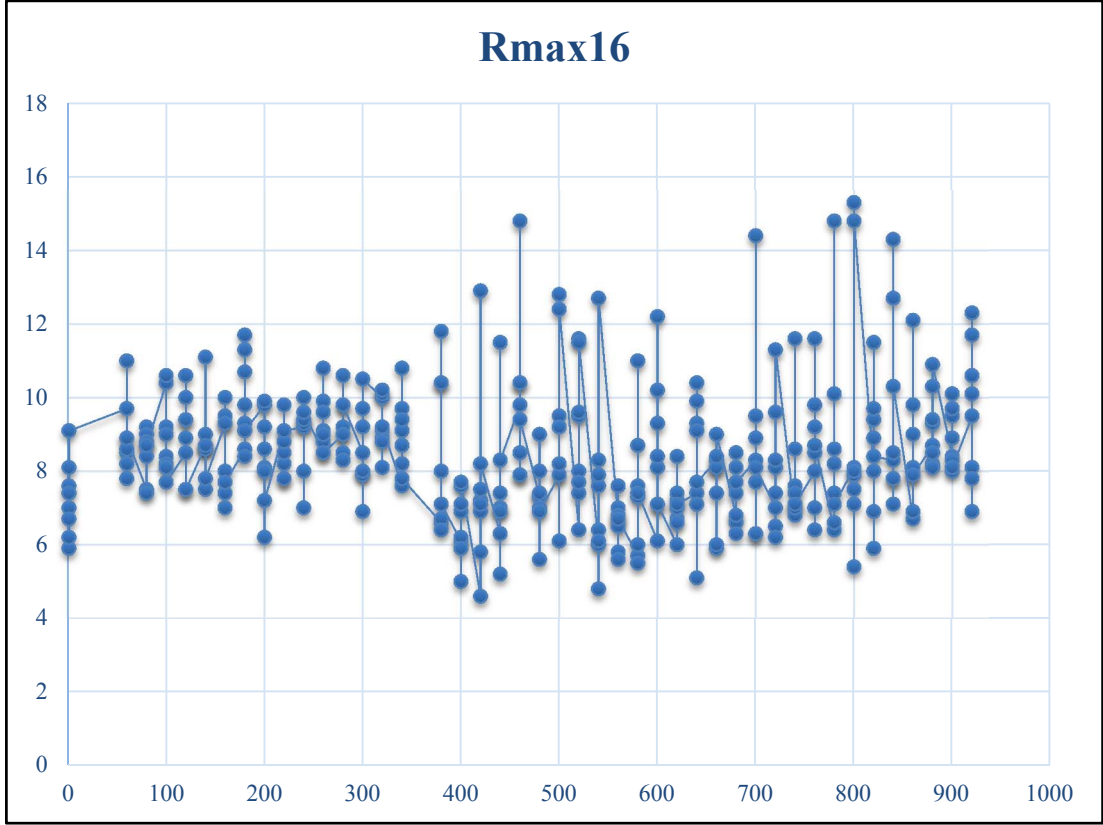
Belirlenen her bir aralıkta 8 adet delik için yüzey pürüzlülük ölçümü yapılmıştır. 380. parçadan sonra yüzey pürüzlülük değerlerindeki dalgalanmanın (genlik) arttığı gözlemlenmiştir. En küçük Ra değeri (0,48 µm) 540. parçadan elde edilirken en büyük Ra değeri de (2,825 µm) 840. parçadan elde edilmiştir. Grafikte en büyük aralık 2,029 µm ve en küçük aralık ise 0,111 µm olarak gözlemlenmiştir (Şekil 7.3).



Şekil 7.3. Ra3,2 grafiği.

Ra değerlerine benzer şekilde belirlenen her bir aralıkta 8 adet delik için Rmax yüzey pürüzlülük ölçümü yapılmıştır. Şekil 7.4’de verilen Rmax grafiği incelendiğinde 380. parçadan sonra ölçüm aralıklarının arttığı ve en küçük ölçüm aralığının 80. parçada 1,8  $\mu\text{m}$  ve büyük ölçüm aralığının 9,9  $\mu\text{m}$  olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca en küçük Rmax 4,6  $\mu\text{m}$  ve en büyük Rmax 15,3  $\mu\text{m}$  olduğu görülmektedir.





Şekil 7.4. Rmax16 grafiği.

### 7.3. ÖLÇÜMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ANALİZİ

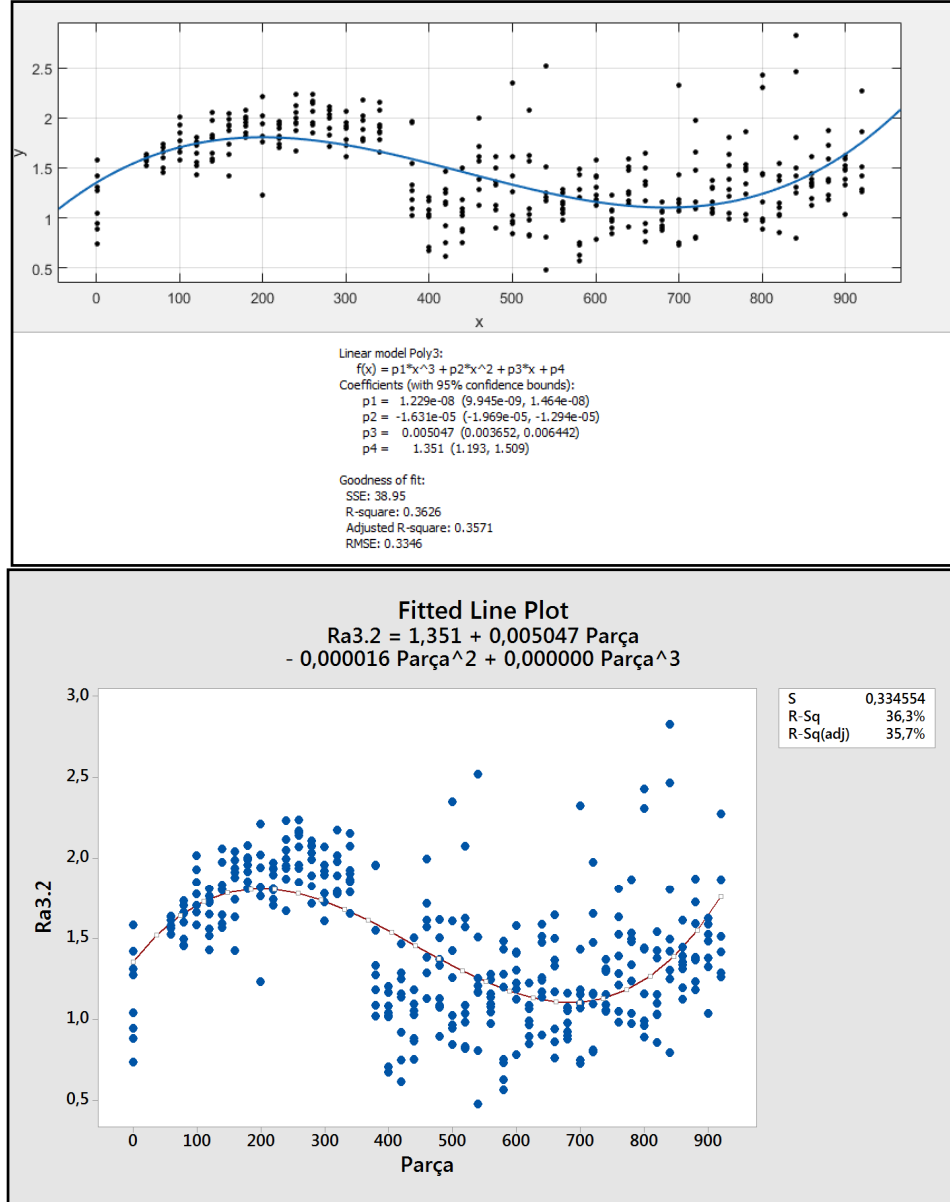
#### 7.3.1. İstatistiksel Değerlendirme

Elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri hem MiniTab hem de Matlab istatistik programlarında analiz edilerek Şekil 7.5 ve Şekil 7.6 oluşturulmuştur. Ra3,2 Şekil 7.5 ve Rmax16 Şekil 7.6'da gösterilmiştir. Her iki programda da aynı değerlere ulaşılmış ve formüle edilerek % 95 güven aralığında tahmini değerlere ulaşılması sağlanmıştır. Ra3,2 ve Rmax16 için aşağıdaki formüller elde edilmiştir. Elde edilen formüllerle ölçümü yapılmayan deliklerin yüzey pürüzlülük değerleri % 95 güven aralığında belirtilen koşullar için belirlenebilir.

$$Ra_{3,2} = 1,351 + 0,005047xParça - (0,000016xParça)^2 + (0,000000xParça)^3$$

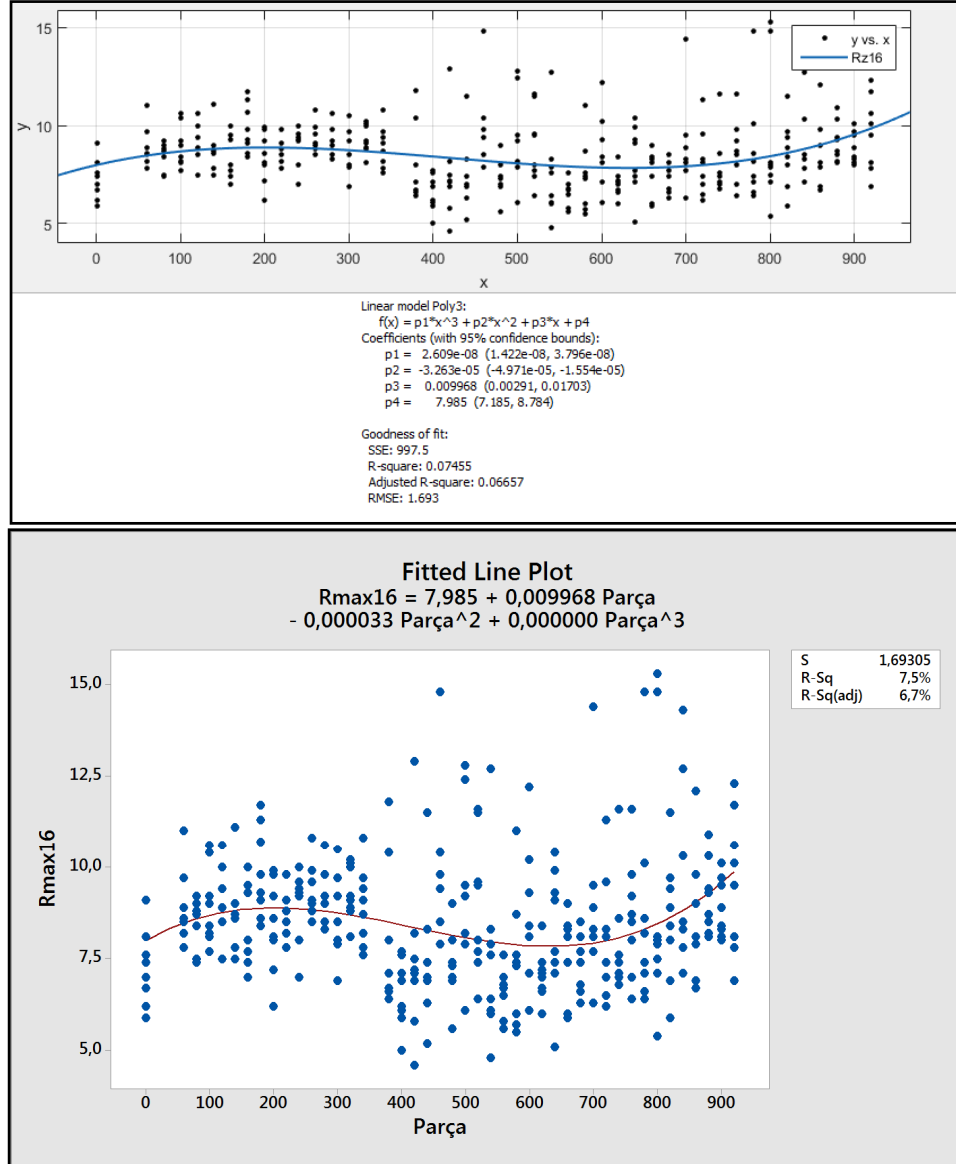
$$R_{max16} = 7,985 + 0,009968xParça - (0,000033xParça)^2 + (0,000000xParça^3)$$





Şekil 7.5. Ra3.2 ölçüm grafiği.

Şekil 7.5 hem Minitab hem de Matlab istatistik ve analiz programlarından alınmış görüntülerdir. Her ikisinde de aynı grafik ve sonuçlar elde edilmiştir. Her iki programda da Regrasyon analizi seçilmiş ve 3. dereceden analiz edilmesi sağlanmıştır.



Şekil 7.6. Rmax16 ölçüm grafiği.

Benzer şekilde Şekil 7.6 Rmax16 ölçüm grafiği de elde edilmiş ve yine regresyon analizinin 3. dereceden yapılması sağlanmıştır.

## BÖLÜM 8

### SONUÇLAR

Gerçek sanayi ortamında pompa kapak plakasının hidrolik yağ giriş delikleri CNC yatay işlem merkezinde TiN kaplamalı kesici takımlar kullanılarak delinmiştir. Takım ömrü kriteri olarak belirlenen Ra3,2 ve Rmax16 yüzey pürüzlülük değerleri takip edilmiştir. 920 adet hidrolik pompa kapak plakasına ait yüzey pürüzlülük değerleri belirli aralıklarla ölçülmüştür. Elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Minitab ve Matlab istatistik ve analiz programlarında 3. dereceden regrasyon analizine tabi tutulmuştur. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1. Eksenel pistonlu hidrolik pompa kapak plakalarının delinmesinde kullanılan kesici takımlar mevcut durumda yaklaşık olarak 300 parça işlendikten sonra tezgah operatörünün inisiyatifine göre değiştirilmektedir. Yapılan bu çalışma ile 920. parçaya kadar kesici takımın delme işlemini Ra ve Rmax yüzey pürüzlülüğü bakımında yapabileceği görülmüştür. Dolayısıyla 300. parçadan sonra kesici takımın değiştirilmesine gerek olmadığı yapılan çalışma ile görülmüştür.
2. Ölçüm sonuçları kullanılarak Ra3,2 ve Rmax16 yüzey pürüzlülük değerleri için Minitab ve Matlab programları ile formüller elde edilmiştir. Bu formüller ile ölçümü yapılmayan delikler için yüzey pürüzlülük tahminlerini % 95 güven aralığında elde etmek mümkün olmuştur.
3. Benzer parçalar için de bu tür deneylerin yapılması ve istatistiksel olarak formüle edilmesinin faydalı olacağı ve bu şekilde takım maliyetinde ve takım değiştirme ve ayar zamanlarında ehemmiyetli düşüşler olabileceği düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Işık, Y., “Kesici Takım Teknolojisi”, *Uludağ Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu*, 76 (2009).
2. Lin, S. C., Lui, T. S., Chen, L. H. and Song, J. M., “Effect of pearlite on the vibration fracture behavior of spheroidal graphite cast irons under resonant conditions”, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 33 (8): 2623-2634 (2002).
3. Sur, G., “Karma takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin üretimi, mekanik özellikler ve işlenebilirliklerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 103 (2008).
4. Yavuz, K., “GGG-70 Sınıfı küresel grafitli dökme demir kam millerinin işlenebilirliğinin deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 3-94 (2006).
5. Gülesin, M., Kaçal, A., ve Melek, F., “GGG 40 KGDD’in ince tornalama operasyonlarında kesme kuvvetlerinin ve yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 11 (3): 229-234 (2008).
6. Thamizhmanii, S., and Hasan, S., “Analyses of roughness, forces and wear in turning gray cast iron”, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 17 (2): 324-332 (2006).
7. Gülesin, M. ve Kaçal, A., “KGDD’in son bitirme operasyonlarının analizi üzerine bir çalışma”, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, 178-183 (2009)
8. Zurecki, Z., Ghach, R., and Frey, J. H., “Finish turning of hardened powder metallurgy steel using cryogenic cooling”, *International Conferance On Powder Metallurgy And Particulate Materials*, Las Vegas, 40 (1): 105-114 (2004).
9. Şeker, U., Hasırcı H., ve Aşkun, Y., “Ni Ve Cu ile alaşımlandırılmış küresel grafitli dökme demirlerin işlenebilirliğinin kesme kuvvetleri ve yüzey kaliteleri açısından değerlendirilmesi”, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9 (2): 191-199 (2003).
10. Arafat, M., “Cnc delme işleminde delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü açısından optimizasyonu“, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* Makine Mühendisliği, Kayseri (2009).

11. Ertürk, Ş., “Termo-kimyasal yöntemle kaplanmış farklı kesici takım malzemelerinin talaşlı işlem kabiliyetini incelenmesi“, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** Makine Eğitimi, Sakarya (2010).
12. Özçatalbaş, Y., “Kaplama malzemesinin takım-talaş ara yüzey sıcaklığı üzerindeki etkisinin deneysel olarak araştırılması”, **Politeknik Dergisi**, 7 (1): 23-30 (2004).
13. Ezugwu, E. O., and Okeke, C. I., “Tool Life and wear mechanisms of TiN coated in an intermittent cutting operation”, **Journal Of Material Processing Technology**, 116 (1): 10-15 (2001).
14. Karadaş, A., “Sanayide deney tasarımı uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi **Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul (2010).
15. Mankır, S., “Regresyon analizinde genelleştirilmiş P değeri”, Yüksek Lisans Tezi, **Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Eskişehir (2014)
16. Darıca, C., “Regresyonda etkili gözlemleri belirleme yöntemleri ve karşılaştırma”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara (2014)
17. Karakaş, S., “Çoklu doğrusal bağlantı problemi ve yanlı regresyon tahminçileri”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü**, İstanbul (2008).
18. Kumaş, E., “Mühendisler için istatistiksel deney tasarımında hazırlık aşaması”, Yüksek Lisans Tezi, **Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kırıkkale, (2011).
19. Gökçe, B. ve Süleyman T., “Kalite için deney tasarımı”, Teknik Not, **Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi**, Afyon,1-13 (2009).
20. Börüban, C., “Firmaların mali başarısızlıklarının öngörülmesinde diskriminant analizi ve lojistik regresyon analizi yöntemlerinin karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü**, İstanbul (2009).
21. Ertan, E., “Regresyon analizi ve matematik programlama arasındaki ilişki”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul (2008).
22. Hamzaoğlu, S., “Çoklu regresyon yöntemlerinde güç analizi“, Yüksek Lisans Tezi, **Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Samsun (2013).
23. Güngör, B. V., “Genetik algoritmalarla optimizasyon ve bir örnek uygulama”, **İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü**, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul (2003)

24. Wilcox, R. R., "Introduction to Robust estimation and Hypothesis Testing". *Academic Press.*, San Diego (1997).
25. Kaynak, Y., "Matkap ile delik delme esnasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve sıcaklığın değişimine etkisinin deneysel olarak incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2006).
26. Yazman, S., "Östemperlenmiş ferritik küresel grafitli dökme demirlerde kesme parametrelerinin işlemeye etkilerinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya (2006).
27. Demir K., "Yüzey pürüzlülüğü ve pürüzlülüğün ölçülmesi", Mezuniyet Tezi, *Gazi Üniversitesi*, 26: 40-44 (2002).
28. Uzunova, T., "Küresel Grafitli Dökme Demir", *Madencilik*, 240 (1967)
29. Karaman, S., "Küresel grafitli dökme demirlerin (GGG40, GGG50, GGG60, GGG70) üretim sürecinin ve mekanik özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Trankya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne (2011).
30. Özses B., "Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme şartlarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2002).
31. Çiftçi, İ., "Talaşlı imalat ders notları", *Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi*, Karabük, (2014).
32. Birkes, D. and Dodge, Y., "Alternative Methods of Regression", *John Wiley Sons*, New York, 80-140 (1993).
33. Field, A., "Discovering Statistics", *Sage Publications* (2000).
34. Hughes, I. C. H. and Davis, J. R., "Ductile iron, cast irons", *Materials and Design*, 15 (9): 355-360 (1996).
35. İnternet Sandvik Coramat Takım Üreticisi, "Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü", [http://www.sandvik.coromant.com/trtr/knowledge/materials/measuring\\_surfaces/pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/trtr/knowledge/materials/measuring_surfaces/pages/default.aspx) (2015).
36. Şeker, U., "Ders notları", *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, Ankara, 1-8 (2015).
37. Güral, G., "Gazaltı kaynağında proses parametrelerinin optimizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir (2003)
38. İzgiz, S., "Küresel Grafitli Dökme Demir", *SEGEM Sınai Eğitim ve Geliştirme Merkezi Yayınları*, Ankara, 2-25 (1988).

39. Krishnaraj, K. L., Narasimhan, H. N. L. and Seshan, S., "Structure and properties of ADI as affected by low alloy additions", *Afs Transactions*, 100 (1): 105-112 (1992).
40. Montgomery, D., C. "Design and Analysis of Experiments, 5th Ed.", *John Wiley & Sons*, Arizona (2001).
41. Şen, U., "Küresel grafitli dökme demirlerin bor kaplanması ve kaplama özellikleri", Doktora Tezi, *İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (1997).
42. Çiftçi, İ., "Kesici Takımlar ve Kesme Teorisi", *Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, Karabük, 30 (2007).
43. Mason, R. L., Gunst, R. F., and Hess, J. L., "Statistical Design and Analysis of Experiments With Applications to Engineering and Science, 2nd Edition", *Wiley & Sons, Inc.*, 2 (1): 26-27 (2003)
44. Çakır, A., "Al 7075 ve Al 6013 alüminyum malzemelerin delme operasyonları esnasındaki kesme parametrelerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 31-34 (2009).
45. Akkurt, M., "Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları", *Birsan Yayınevi*, İstanbul 23-90 (1998).
46. Groover, M. P., "Fundamentals of modern manufacturing materials, processes and systems", *Prentice-Hall Inc.*, New Jersey, 220-639 (1996).
47. Çiftçi, İ., "Talaşlı imalat ders notları", Karabük *Üniversitesi Teknoloji Fakültesi*, Karabük, (2013).
48. Akray, İ., "Küresel grafitli dökme demirlere uygulanan yüzey işlemlerinin aşınma direncine etkisinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü* (2007).
49. Stefanescu, D. M., "Materials Science Engineering", *2041 College Rd Columbus* (2003).
50. Özses, B., "Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme şartlarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 625 (2002).
51. Montgomery, D. C., "Design and Analysis of Experiments, 5th Ed." *John Wiley & Sons*, Arizona (2001).
52. Lazic, Z. R., "Design of Experiments in Chemical Engineering A Practical Guide", *WILEY-VCH*, 157-165 (2004).

53. Hinkelman, K. and Kempthorne, O., “Design and Analysis of Experiments Advanced Experimental Design”, *A John Wiley & Sons Inc.*, New Jersey, 2 (1): (2005).
54. Gökçe, B., ve Taşgetiren, S., “Kalite İçin Deney Tasarımı”, *9 Makina Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6 (1) (2009).
55. Güllü, A., “Silindirik taşlamada istenen yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için taşlama parametrelerinin bilgisayar yardımıyla optimizasyonu”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1–5 (1995).
56. Akkurt, M., “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları”, *İ.T.Ü. Makine Fakültesi*, İstanbul, 85-90 (2000).



**EK AÇIKLAMALAR A.**

**HİDROLİK POMPA KAPAK PLAKASI HİDROLİK YAĞ GİRİŞ  
DELİKLERİ Ra3.2 Rmax16 ÖLÇÜM SONUÇLARI**

Çizelge Ek A.1. Ra3.2 Rmax16 ölçüm sonuçları.

Parça Sayısı	Ra3.2	Rmax 16	Parça Sayısı	Ra3.2	Rmax 16	Parça Sayısı	Ra3.2	Rmax 16
1	1,044	5,9	320	1,792	10,1	640	1,476	9,3
1	1,274	7,6	320	1,775	10,2	640	1,139	7,1
1	0,886	6,2	320	1,89	9,2	640	1,171	5,1
1	1,312	7,4	340	1,902	7,6	640	1,511	9,1
1	0,945	7	340	1,855	9,1	640	1,243	9,9
1	1,422	8,1	340	1,865	9,7	640	1,258	7,7
1	0,737	6,7	340	2,075	8,7	660	1,171	8,3
1	1,582	9,1	340	1,785	8,2	660	1,33	8,1
60	1,577	9,7	340	2,152	9,4	660	0,765	5,9
60	1,632	7,8	340	1,926	10,8	660	1,645	8,1
60	1,611	8,5	340	1,655	7,8	660	0,865	8,4
60	1,637	8,9	380	1,185	6,6	660	1,366	7,4
60	1,564	8,6	380	1,02	6,7	660	0,941	6
60	1,631	11	380	1,951	11,8	660	1,501	9
60	1,526	8,2	380	1,277	10,4	680	1,071	6,8
60	1,631	8,9	380	1,958	10,4	680	0,88	6,6
80	1,495	7,5	380	1,332	8	680	0,927	8,5
80	1,662	9,2	380	1,087	6,4	680	1,056	6,8
80	1,653	9	380	1,548	7,1	680	0,981	6,3
80	1,705	8,4	400	1,017	6,1	680	0,902	8,1
80	1,733	8,8	400	1,169	6,2	680	1,075	7,4
80	1,6	8,7	400	1,026	5,9	680	1,162	7,7
80	1,458	7,4	400	1,203	6,9	700	1,184	8,3
80	1,452	8,7	400	1,085	7,6	700	1,072	7,7
100	1,93	10,4	400	1,041	7,1	700	0,73	6,3
100	1,702	8,4	400	0,675	5	700	2,324	14,4
100	2,014	9,2	400	0,71	7,7	700	0,75	6,3
100	1,85	8,2	420	0,62	4,6	700	1,432	9,5
100	1,584	8,1	420	1,468	7,2	700	1,1	8,9
100	1,662	10,6	420	0,749	5,8	700	1,154	8,1
100	1,773	9	420	0,92	12,9	720	0,803	7
100	1,703	7,7	420	1,25	6,9	720	1,156	8,1
120	1,76	8,5	420	1,136	7,5	720	1,096	8,3
120	1,732	9,4	420	1,157	7,1	720	1,474	7,4
120	1,648	9,4	420	1,289	8,2	720	0,812	6,5
120	1,431	8,9	440	0,885	6,3	720	1,164	6,2
120	1,721	10,6	440	1,098	7	720	1,653	9,6
120	1,517	7,5	440	0,869	5,2	720	1,974	11,3
120	1,807	10	440	1,182	7	740	1,093	6,8
120	1,556	7,5	440	1,054	6,9	740	1,312	7,6
140	1,798	8,7	440	1,503	11,5	740	1,295	11,6
140	1,972	9	440	1,03	7,4	740	1,052	7
140	1,833	8,7	440	0,754	8,3	740	1,06	7,1
140	1,647	8,6	460	1,385	9,8	740	1,37	7,4
140	2,055	11,1	460	1,572	10,4	740	1,155	8,6
140	1,591	7,5	460	1,129	7,9	740	1,306	7,1
140	1,803	8,7	460	1,717	14,8	760	1,282	8
140	1,568	7,8	460	1,286	10,4	760	1,631	9,2

Çizelge Ek A.1. (devam ediyor).

Parça Sayısı	Ra3.2	Rmax 16	Parça Sayısı	Ra3.2	Rmax 16	Parça Sayısı	Ra3.2	Rmax 16
160	1,988	9,3	460	1,612	8,5	760	0,985	6,4
160	1,913	8	460	1,383	7,9	760	1,39	7
160	1,877	9,5	460	1,993	9,4	760	1,214	8,5
160	1,634	7	480	1,076	7,3	760	1,523	9,8
160	2,04	10	480	1,369	7,4	760	1,808	11,6
160	1,935	9,3	480	1,086	7,4	760	1,05	8,7
160	1,743	7,4	480	1,618	8	780	0,975	6,4
160	1,426	7,7	480	1,335	9	780	1,495	10,1
180	1,917	8,6	480	1,504	7	780	1,478	8,6
180	2,004	11,7	480	0,895	5,6	780	1,534	7,4
180	1,991	10,7	480	1,131	6,9	780	1,238	8,2
180	1,854	11,3	500	0,945	7,9	780	1,866	14,8
180	2,077	9,8	500	1,027	7,9	780	1,04	6,6
180	1,806	9,3	500	0,847	6,1	780	1,339	7,1
180	1,956	8,4	500	1,608	12,8	800	0,965	8,1
180	1,811	9,1	500	1,26	8,2	800	1,442	7,1
200	1,94	9,8	500	0,967	9,5	800	0,894	5,4
200	2,21	9,2	500	1,425	9,2	800	2,427	15,3
200	1,822	8,6	500	2,35	12,4	800	1,435	7,9
200	1,817	8,1	520	1,088	6,4	800	1,158	7,5
200	1,233	6,2	520	1,04	7,4	800	0,994	8
200	1,761	8	520	0,835	8	800	2,307	14,8
200	2,021	9,9	520	0,983	9,5	820	1,099	8
200	1,762	7,2	520	1,623	9,6	820	1,378	9,4
220	1,739	9,1	520	1,571	11,6	820	1,153	11,5
220	1,705	8,2	520	0,823	7,7	820	1,54	9,7
220	1,896	7,8	520	2,072	11,5	820	1,03	6,9
220	1,813	8,5	540	1,169	6	820	1,034	8,9
220	1,936	9,8	540	0,48	4,8	820	0,86	5,9
220	1,933	8,8	540	1,208	6,4	820	1,425	8,4
220	1,798	7,8	540	0,81	6,1	840	1,305	8,3
220	1,969	9,1	540	1,254	7,6	840	1,497	8,5
240	2,05	9,2	540	1,51	8,3	840	1,42	7,8
240	1,995	8	540	1,17	7,9	840	2,466	12,7
240	2,117	9,4	540	2,52	12,7	840	0,796	7,8
240	1,937	10	560	1,136	6,7	840	2,825	14,3
240	1,672	7	560	1,158	7,6	840	1,25	7,1
240	2,231	9,3	560	1,045	7	840	1,802	10,3
240	1,951	9,4	560	1,098	6,8	860	1,314	6,7
240	1,868	9,6	560	1,078	5,8	860	1,446	7,9
260	2,168	8,5	560	1,247	6,5	860	1,354	9,8
260	1,935	9,1	560	0,977	5,6	860	1,126	12,1
260	1,848	8,8	560	1,28	6,7	860	1,197	6,9
260	1,957	9,9	580	0,629	5,7	860	1,612	9
260	2,155	10,8	580	1,434	7,6	860	1,339	8,1
260	2,142	9	580	0,733	7,3	860	1,39	7,9
260	2,235	9,6	580	1,281	8,7	880	1,233	8,7

Çizelge Ek A.1. (devam ediyor).

<b>Parça Sayısı</b>	<b>Ra3.2</b>	<b>Rmax 16</b>	<b>Parça Sayısı</b>	<b>Ra3.2</b>	<b>Rmax 16</b>	<b>Parça Sayısı</b>	<b>Ra3.2</b>	<b>Rmax 16</b>
260	2,07	8,5	580	0,756	5,5	880	1,385	10,3
280	2,072	9	580	1,2	11	880	1,183	8,2
280	1,891	9,2	580	0,568	6	880	1,725	9,3
280	2,106	8,5	580	1,484	7,4	880	1,378	9,4
280	1,825	8,3	600	0,786	6,1	880	1,59	8,5
280	2,034	9	600	1,227	7,1	880	1,366	8,1
280	2,079	9,8	600	1,415	8,1	880	1,869	10,9
280	1,718	10,6	600	1,577	12,2	900	1,525	8,4
280	1,992	9,8	600	1,304	10,2	900	1,04	8
300	1,779	8,5	600	1,409	9,3	900	1,626	8,3
300	1,956	8	600	1,127	8,4	900	1,484	9,5
300	1,723	7,9	600	1,187	7,1	900	1,381	10,1
300	2,07	8	620	0,898	6	900	1,587	9,7
300	1,895	9,2	620	1,227	6,7	900	1,325	8,9
300	1,609	6,9	620	1,086	7,2	900	1,481	8,1
300	2,071	9,7	620	1,069	7	920	1,511	9,5
300	1,921	10,5	620	0,849	6,6	920	1,512	10,6
320	2,175	10	620	0,968	8,4	920	1,287	8,1
320	1,976	8,1	620	0,993	7,4	920	1,417	10,1
320	2,016	9,1	620	1,226	7,1	920	1,288	7,8
320	2,015	8,9	640	0,907	7,4	920	1,264	6,9
320	1,78	8,8	640	1,589	10,4	920	2,274	11,7
						920	1,865	12,3

## ÖZGEÇMİŞ

Murat ÇELİKBİLEK 1985'de Eskişehir'de doğdu; ilk ve orta öğrenimini ayrı şehirde Bursa'da tamamladı; Atatürk Endüstri Meslek Lisesi, Türk Alman Mesleki Eğitim Merkezi, Tesviye Bölümü'nden ve aynı zamanda Bursa'da Bosch San. ve Tic. A.Ş Teknik Eğitim Merkezi, Endüstriyel Mekanikçi Programı'ndan mezun olduktan sonra 2002 yılında aynı işletmede Unit Enjektör Lazerli İmalat Bölümü'nde makine operatörü olarak işe başladı. Ertesi yıl 2003 yılında Uludağ Üniversitesi Makine Bölümü Lisans Programında yerleşti. Aynı süre zarfında çalışmaya devam etti. 2007 yılında firmadan ayrılarak Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Programı Talaşlı İmalat Öğretmenliği Bölümü'ne girdi. 2010 Bahar Döneminde Slovenya Ljubljana Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Programında 1 dönem boyunca eğitim gördü. 2011'de "iyi" derece ile mezun olduktan sonra Bursa Bosch San. ve Tic. A.Ş Özel Makine İmalat Bölümü'nde Satış Koordinatörü olarak göre başladı Halen; 2015 yılında KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programını sürdürmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres :Gülbahçe Mah. Dr. Ahmet Sadık Cad. Yıldız Ap. No. 8, Kat. 5 D: 12  
Osmangazi / BURSA

Tel: (530) 970 0827

Faks: (224) 219 3441

E-posta: [murat-celikbilek@hotmail.com](mailto:murat-celikbilek@hotmail.com), [murat.celikbilek@tr.bosch.com](mailto:murat.celikbilek@tr.bosch.com)